

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación de la calidad del agua asociada al pasivo minero Desmontera
Excelsior durante la ejecución del plan de cierre ambiental en el Distrito
de Simón Bolívar, Pasco – 2025**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Bach. Franklyn Ruben GARCIA HUACAICO

Bach. Rosi Mery SOTO GONZALES

Asesor:

Mg. Josué Hermilio DIAZ LAZO

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación de la calidad del agua asociada al pasivo minero Desmontera
Excelsior durante la ejecución del plan de cierre ambiental en el Distrito
de Simón Bolívar, Pasco – 2025**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS
PRESIDENTE

Mg. Rosario Marcela VASQUEZ GARCÍA
MIEMBRO

Mg. Lucio ROJAS VITOR
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 030-2026-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Evaluación de la Calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera

Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental

en el Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025

Apellidos y nombres de los tesisas

Bach. Franklyn Ruben, GARCIA HUACAICO

Bach. Rosi Mery, SOTO GONZALES

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Josué Hermilio, DIAZ LAZO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

4 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 10 de junio del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.06.2026 15:50:03 -05:00

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo, en primer lugar, a Dios por guiarnos y darnos la fortaleza para culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas.

A los padres de uno de los autores, Ruben Braulio García Palacin y Soraida Huacaico Arias por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y el esfuerzo constante que han realizado para brindarle la oportunidad de alcanzar sus metas profesionales. Su amor y sacrificio han sido una fuente permanente de motivación.

A mi madre, Rosa Gonzales Salas, quien, aunque ya no se encuentra físicamente conmigo, vive en cada uno de mis logros. Su amor, sus consejos y los valores que me inculcó han sido mi guía para seguir adelante y cumplir este sueño. Este logro también es para ti, mamá.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera nos brindaron su apoyo y confianza durante el desarrollo de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Dios por brindarnos la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar satisfactoriamente esta importante etapa de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, familiares y compañeros de vida, quienes, con su apoyo incondicional, esfuerzo y confianza han sido el pilar fundamental para alcanzar este logro académico, motivándonos siempre a seguir adelante y a no rendirnos ante las dificultades.

De manera especial, agradecemos a nuestros docentes y asesor de tesis, por su orientación, conocimientos y valioso acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo, consejos y motivación para hacer posible la realización de esta tesis. Su colaboración ha sido muy valiosa en este proceso académico.

RESUMEN

La calidad del recurso hídrico en zonas de influencia minera constituye una problemática ambiental durante la ejecución de los planes de cierre, debido a la persistencia de contaminantes asociados a pasivos mineros que afectan la sostenibilidad ambiental y la salud pública. El objetivo es evaluar la calidad del agua asociada al pasivo minero Excelsior durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental, mediante el análisis de metales pesados disueltos, parámetros fisicoquímicos y la variación temporal de la calidad del agua, comparando con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La metodología se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con muestreos de agua superficial realizados en el mes de marzo de 2025 en cuatro puntos del área de influencia, aplicándose la prueba t pareada para comparar las condiciones previas y durante la ejecución del plan de cierre. Los resultados evidenciaron excedencias significativas de hierro (7,5 mg/L), manganeso (0,7 mg/L) y plomo (0,075 mg/L), así como concentraciones de sólidos suspendidos totales de hasta 291 mg/L, superando los ECA establecidos. No obstante, el análisis temporal mostró reducciones significativas de DBO₅ (96,3 %), DQO (93,1 %), hierro y manganeso (82,4 %) y plomo (92,6 %). Concluyéndose que el Plan de Cierre Ambiental, ejecutado por la empresa AMSAC con un avance del 100%, está reduciendo significativamente la carga contaminante del agua no obstante se encontraba en levantamiento de observaciones

Palabras Claves: Pasivos mineros, Calidad del agua, Metales pesados, Plan de cierre ambiental.

ABSTRACT

The quality of water resources in areas affected by mining is an environmental issue during the implementation of closure plans, due to the persistence of contaminants associated with mining liabilities that affect environmental sustainability and public health. The objective is to evaluate the water quality associated with the Excelsior mining liability during the execution of the Environmental Closure Plan, through the analysis of dissolved heavy metals, physical-chemical parameters, and temporal variation in water quality, comparing with Environmental Quality Standards (ECA). The methodology was developed using a quantitative approach, with surface water sampling carried out in March 2025 at four points in the area of influence, applying the paired t-test to compare conditions before and during the execution of the closure plan. The results showed significant exceedances of iron (7.5 mg/L), manganese (0.7 mg/L), and lead (0.075 mg/L), as well as concentrations of total suspended solids of up to 291 mg/L, exceeding the established ECAs. However, the temporal analysis showed significant reductions in BOD₅ (96.3%), COD (93.1%), iron and manganese (82.4%) and lead (92.6%). It was concluded that the Environmental Closure Plan is significantly reducing the pollutant load in the water. It was concluded that the Environmental Closure Plan, executed by the company AMSAC with 100% progress, is significantly reducing the pollutant load of the water, although it was in the process of addressing observations.

Keywords: Mining liabilities, Water quality, Heavy metals, Environmental closure plan.

INTRODUCCIÓN

La calidad del recurso hídrico constituye un elemento para el equilibrio de los ecosistemas y el desarrollo sostenible de las poblaciones, especialmente en territorios donde se han desarrollado actividades extractivas a gran escala. En el Perú, la minería ha sido históricamente uno de los principales motores económicos; sin embargo, ha generado impactos ambientales significativos, particularmente sobre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Diversos estudios han evidenciado que, incluso durante la ejecución de los planes de cierre ambiental, los pasivos ambientales mineros continúan liberando contaminantes como metales pesados y compuestos tóxicos, configurando escenarios de riesgo ambiental persistente (Younger et al., 2002). Esta situación llama la atención para realizar investigaciones en regiones altoandinas como Pasco, donde la interacción entre sistemas hídricos, pasivos mineros y zonas urbanas incrementa la vulnerabilidad ambiental y social.

El pasivo minero Desmontera Excelsior representa un caso de contaminación hídrica histórica y de compleja gestión ambiental. Investigaciones previas realizadas en esta zona, han identificado concentraciones elevadas de metales como plomo, arsénico, hierro y zinc en cuerpos de agua cercanos a pasivos mineros, superando los Estándares de Calidad Ambiental y comprometiendo su uso para riego agrícola y bebida de animales (Delgado et al., 2020). Asimismo, documentos técnicos recientes señalan que los desmontes y relaves vecinos al Excelsior mantienen un alto potencial de generación de drenaje ácido y lixiviación de metales, influyendo directamente en la ejecución de su Plan de Cierre, evidenciando la existencia aún de impactos ambientales (Cerro de Pasco Resources Inc., 2025a). Estas condiciones configuran una problemática ambiental compleja, caracterizada por alteraciones físico-químicas del recurso hídrico que requieren ser evaluadas de manera específica.

A pesar de la existencia de estudios y reportes técnicos, se identifican importantes vacíos de conocimiento respecto al comportamiento del recurso hídrico. La mayoría de las investigaciones previas se han centrado en evaluaciones puntuales o en escenarios previos al plan de cierre, sin profundizar en la variación temporal y espacial de los parámetros críticos

de calidad del agua ni en la identificación de fuentes de contaminación puntual o difusa. Asimismo, se observa una limitada aplicación de enfoques de estadística inferencial que permitan evaluar el cumplimiento ambiental con niveles adecuados, restringiendo la capacidad de inferir tendencias reales del sistema hídrico (Delgado et al., 2020). Estas limitaciones evidencian la necesidad de desarrollar estudios que integren análisis fisicoquímicos y estadísticos alineados a la normativa ambiental vigente.

En atención a esta problemática, se tiene como propósito evaluar la calidad del recurso hídrico asociada al pasivo minero Desmontera Excelsior durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental, por medio de la obtención de metales pesados disueltos, la evaluación de las condiciones fisicoquímicas del agua y el análisis de la variación temporal y espacial de parámetros críticos de calidad. El estudio busca identificar alteraciones persistentes del recurso hídrico y verificar el grado de cumplimiento de los objetivos ambientales del plan de cierre, en concordancia con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2008).

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.2.1.	Delimitación teórica	3
1.2.2.	Delimitación espacial	4
1.2.3.	Delimitación temporal	5
1.3.	Formulación del problema	5
1.3.1.	Problema general	5
1.3.2.	Problemas específicos	5
1.4.	Formulación de Objetivos	5
1.4.1.	Objetivo general	5
1.4.2.	Objetivos específicos	5
1.5.	Justificación de la investigación	6
1.6.	Limitaciones de la investigación	8

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	10
2.1.1.	Antecedentes internacionales	10
2.1.2.	Antecedentes nacionales	16
2.1.3.	Antecedentes locales	21
2.2.	Bases teóricas - científicas	23
2.2.1.	Pasivos ambientales mineros (PAM)	23
2.2.2.	Calidad del agua	26
2.2.3.	Metodologías de evaluación de la calidad del agua.....	27
2.2.4.	Herramientas matemáticas y estadísticas en la evaluación ambiental.....	28
2.2.5.	Marco legal peruano sobre calidad de agua y pasivos mineros.....	29
2.2.6.	Metodología de ensayo	29
2.2.7.	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) 30	
2.3.	Definición de términos básicos	32
2.4.	Formulación de hipótesis.....	35
2.4.1.	Hipótesis de General.....	35
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	35
2.5.	Identificación de las variables	36
2.5.1.	Variable independiente.....	36
2.5.2.	Variable dependiente	36
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	37

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación	38
3.2.	Nivel de Investigación	38
3.3.	Métodos de investigación	39
3.4.	Diseño de investigación	39
3.5.	Población y muestra	39
3.5.1.	Población	39
3.5.2.	Muestra	40
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	41
3.8.	Tratamiento estadístico	41
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica	42

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	43
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.	50
4.3.	Prueba de Hipótesis	56
4.3.1.	Hipótesis general	56
4.4.	Discusión de resultados.....	60

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Parámetros físicos y organolépticos.....	31
Tabla 2 Parámetros inorgánicos	31
Tabla 3 Nutrientes.....	31
Tabla 4 Parámetros microbiológicos	31
Tabla 5 Concentración de parámetros fisicoquímicos y metales pesados disueltos.....	44
Tabla 6 Condiciones fisicoquímicas del agua durante la ejecución del plan de cierre	45
Tabla 7 Evaluación de parámetros ambientales en el año 2012	49
Tabla 8 Resultados y comparación con estándares ECA.....	51
Tabla 9 Variables que intervienen en el cálculo	52
Tabla 10 Cumplimiento fisicoquímico del agua frente a los ECA – Categoría 3	52
Tabla 11 Tabla de cumplimiento inferencial – escenario pre-cierre	54
Tabla 12 Reducción porcentual de parámetros críticos pre-test y test	55
Tabla 13 Prueba t pareada pre vs post test.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Pasivo minero Excelsior	4
Figura 2 Punto de muestreo AS-MD-CN-01	46
Figura 3 Punto de muestreo AS-MD-CN-02	46
Figura 4 Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	47
Figura 5 Puntos de muestreo antes de la ejecución del plan de cierre	47
Figura 6 Toma de muestra en la margen izquierda	48
Figura 7 Toma de muestras en la margen derecha	48

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

El estudio realizado por Stensrud & Langdon (2023), titulado “The slow violence of mining and environmental suffering in the Andean waterscapes”, constituye una investigación crítica sobre los impactos ambientales acumulativos generados por la actividad minera en los ecosistemas hídricos altoandinos del Perú, particularmente en comunidades rurales de la región de Huancavelica. La investigación aborda la contaminación minera desde una perspectiva socioecológica, integrando el análisis técnico de la degradación ambiental con las consecuencias sociales y culturales derivadas del deterioro progresivo de los recursos hídricos.

Desde el enfoque técnico ambiental, el estudio evidencia que las actividades extractivas y los pasivos mineros generan procesos continuos de liberación de contaminantes hacia las fuentes de agua superficiales y subterráneas. Entre los principales contaminantes identificados destacan los metales pesados potencialmente tóxicos, como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe), además de compuestos asociados al drenaje ácido de mina (DAM), caracterizados por elevadas concentraciones de sulfatos, sólidos disueltos y bajos valores de pH.

La investigación interpreta que estos procesos de contaminación no producen necesariamente impactos inmediatos o eventos catastróficos visibles, sino mecanismos de degradación ambiental gradual y persistente que alteran progresivamente la funcionalidad ecológica de los cuerpos de agua. Este fenómeno es conceptualizado como “violencia lenta”, debido a que sus efectos se manifiestan de manera acumulativa en largos periodos de tiempo, afectando silenciosamente la calidad del agua, la biodiversidad acuática y las actividades socioeconómicas dependientes del recurso hídrico.

Técnicamente, el estudio demuestra que la exposición continua a contaminantes mineros genera alteraciones significativas en los parámetros fisicoquímicos del agua, tales como disminución del pH, incremento de la conductividad eléctrica, aumento de sólidos totales disueltos (STD), presencia de sulfatos y elevadas concentraciones de metales pesados por encima de estándares ambientales permisibles. Estas alteraciones favorecen procesos de acidificación, toxicidad acuática y bioacumulación de elementos metálicos en organismos vivos, generando riesgos ambientales y sanitarios para las poblaciones humanas.

Asimismo, el estudio pone en evidencia deficiencias estructurales en los sistemas de gobernanza ambiental y fiscalización minera, señalando que existe una limitada articulación entre las políticas de control ambiental, los mecanismos de monitoreo de calidad del agua y las percepciones locales sobre el daño ecológico. Los autores sostienen que muchas afectaciones ambientales son subestimadas institucionalmente debido a la ausencia de monitoreos integrales y evaluaciones longitudinales que permitan identificar impactos acumulativos asociados a la actividad minera.

Desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, la investigación resalta la necesidad de fortalecer los programas de monitoreo hidroquímico y geoquímico en zonas de influencia minera, incorporando evaluaciones continuas de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metalúrgicos. Del mismo modo, enfatiza la

importancia de implementar estrategias eficientes de remediación ambiental, control de drenaje ácido de mina y cierre técnico de pasivos ambientales, con el objetivo de reducir la movilización de contaminantes hacia los ecosistemas acuáticos.

El aporte científico de este antecedente resulta relevante para la presente investigación titulada “Evaluación de la Calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar – 2025”, debido a que proporciona fundamentos teóricos y técnicos sobre los mecanismos de contaminación hídrica derivados de pasivos mineros y la importancia de evaluar la efectividad de las medidas de cierre ambiental mediante indicadores de calidad del agua. Además, sustenta la necesidad de realizar monitoreos ambientales permanentes que permitan verificar la reducción de contaminantes y la recuperación progresiva de los ecosistemas afectados por actividades extractivas.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación teórica

La investigación se delimita teóricamente en el ámbito de la gestión ambiental minera, con énfasis en la evaluación de la calidad del agua superficial asociada a pasivos ambientales durante la ejecución de cierre. Se sustenta en los enfoques de la contaminación hídrica por actividades mineras, la hidrogeoquímica ambiental y la evaluación del desempeño ambiental, los cuales explican los procesos físicos, químicos y biológicos en donde los pasivos mineros alteran los cuerpos de agua en ecosistemas altoandinos. Bajo este marco, la calidad del agua se concibe como un indicador técnico de cumplimiento ambiental, evaluado a partir de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos regulados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, tales como pH, DBO₅, DQO, sulfatos, metales pesados y coliformes termotolerantes.

La evaluación ambiental del recurso hídrico se entorna importante para determinar el grado de cumplimiento normativo, identificar riesgos para los

ecosistemas y poblaciones expuestas, y aportar evidencia técnica que oriente la gestión sostenible de pasivos ambientales en una ciudad históricamente afectada por la minería.

1.2.2. Delimitación espacial.

La investigación se delimita al área de influencia directa del pasivo minero Desmontera Excelsior, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, provincia y región Pasco, en una zona altoandino caracterizado por la presencia de cuerpos de agua superficial afectados por actividades mineras históricas y en proceso de cierre ambiental. El ámbito espacial comprende cuatro puntos de monitoreo ambiental estratégicamente localizados, identificados como AS-MD-CN-01, AS-MD-CN-02, AS-MI-CN-01 y AS-MI-CN-02, cuyas coordenadas UTM se sitúan entre los 360 447 y 361 468 m Este, y 8 817 503 y 8 818 769 m Norte, a altitudes que oscilan entre 4 289 y 4 312 m.s.n.m. Estos puntos representan sectores aguas arriba y aguas abajo del pasivo minero, permitiendo evaluar espacialmente la variabilidad de los parámetros físico-químicos y de contaminación asociados al recurso hídrico, tales como pH, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales, también sustancias de interés ambiental como cianuro WAD, metales totales y sulfatos.

Figura 1 Pasivo minero Excelsior



1.2.3. Delimitación temporal.

El presente se delimita temporalmente entre los meses de junio y setiembre que responde a criterios técnicos, logísticos y climáticos. En este período se organizó de manera eficiente las etapas de planificación, recolección, análisis de datos y redacción del informe final

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la concentración de metales disueltos en las muestras de agua asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior?
- b. ¿Qué condiciones fisicoquímicas presenta el recurso hídrico en los distintos puntos de muestreo?
- c. ¿Existen variaciones temporales y espaciales en los parámetros críticos de calidad de agua que evidencien fuentes de contaminación puntual o difusa?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la Calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la concentración de metales disueltos en las muestras de agua asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior y comparar su estándar de calidad ambiental.

- b. Evaluar las condiciones fisicoquímicas del agua en los distintos puntos de muestreo.
- c. Determinar la variación temporal y espacial de los parámetros críticos de calidad de agua en las contramuestras tomadas, para identificar fuentes de contaminación puntual o difusa.

1.5. Justificación de la investigación

A. Justificación teórica:

La presente se justifica teóricamente por la necesidad de aplicar metodologías científicas para la evaluación de la calidad del recurso hídrico durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental de pasivos mineros, en contextos altoandinos caracterizados por una elevada sensibilidad ambiental. El estudio se sustenta en el empleo de técnicas analíticas, tales como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), así como en la medición sistemática de parámetros fisicoquímicos relevantes (pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, cianuro, entre otros), que permiten cuantificar con rigor las concentraciones de contaminantes y contrastarlas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos por la normativa nacional. Estas metodologías, ampliamente utilizadas en investigaciones recientes desarrolladas en zonas mineras del Perú y de otros países andinos, posibilitan analizar la movilidad, persistencia y comportamiento geoquímico de los metales pesados en sistemas hídricos impactados por la actividad minera, así como su potencial de bioacumulación en los ecosistemas acuáticos.

B. Justificación práctica:

Desde el enfoque práctico, la investigación responde a una necesidad urgente de las comunidades y autoridades del distrito de Simón Bolívar y la ciudad de Cerro de Pasco de contar con evidencia científica sobre la calidad del agua en áreas afectadas por pasivos mineros. La persistencia de metales como el

arsénico, cadmio, plomo y mercurio en cuerpos hídricos expone a la población a riesgos sanitarios, como enfermedades crónicas y afectaciones neurológicas, así como a la degradación de actividades económicas como la agricultura y ganadería. Evaluar la variación espacial y temporal de estos contaminantes permite identificar con precisión las fuentes puntuales o difusas de contaminación, brindando insumos concretos para la toma de decisiones, el diseño de planes de remediación ambiental y la gestión territorial sustentable del recurso hídrico.

C. Justificación ambiental:

En el ámbito ambiental, la presente cobra relevancia por su alineación con el marco normativo peruano, en especial con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM. El cumplimiento de estas normas es importante para prevenir impactos ambientales adversos en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Evaluar si los valores medidos superan dichos límites permite activar mecanismos legales y técnicos de vigilancia ambiental y control. Asimismo, esta investigación apoya los compromisos del Estado peruano respecto a la protección del medio ambiente y la salud humana, particularmente en zonas históricamente afectadas por la actividad minera.

Importancia y alcances de la investigación

El presente estudio es importante por su relevancia científica, ambiental y técnica, debido a que permitió analizar la calidad del recurso hídrico en el entorno del pasivo minero Desmontera Excelsior durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental, etapa para la sostenibilidad ambiental en la región de Pasco. La determinación de las concentraciones de metales pesados tales como arsénico, cadmio, plomo, zinc y mercurio resulta fundamental para contrastarlas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, a fin de evaluar el grado de cumplimiento normativo y los potenciales riesgos para la salud humana, los ecosistemas acuáticos y las actividades agropecuarias locales. Asimismo, la

evaluación de parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y cianuro permiten identificar alteraciones en la calidad del agua asociadas a procesos geoquímicos residuales, drenaje ácido o posibles filtraciones persistentes vinculadas al Excelsior.

Los alcances de la presente investigación comprenden la caracterización de la calidad del recurso hídrico, mediante el análisis de metales pesados y parámetros físico-químicos en muestras de agua recolectadas en puntos de monitoreo definidos y en periodos específicos del año 2025, los resultados contribuyen a la identificación de fuentes de contaminación puntual o difusa y a la evaluación de riesgos potenciales para la salud de las poblaciones cercanas y los ecosistemas acuáticos, además la investigación aportará evidencia técnica para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

1.6. Limitaciones de la investigación

A continuación, se presentan las limitaciones de la presente investigación

- La obtención de información técnica y actualizada sobre la gestión del pasivo ambiental Excelsior se delimita por restricciones administrativas o confidencialidad institucional, dificultando el acceso a datos históricos o reportes previos de monitoreo ambiental.
- El ingreso a las instalaciones del pasivo ambiental Excelsior está condicionado por aspectos de seguridad, permisos institucionales o restricciones impuestas por titulares mineros o autoridades locales, lo que afecta la cobertura espacial de los puntos de muestreo.
- La geografía accidentada y las condiciones meteorológicas variables de la zona altoandina afecta el cronograma de muestreo y la representatividad de los datos obtenidos en campo.

- La disponibilidad de recursos económicos, equipos de laboratorio y transporte especializado restringe de alguna manera la frecuencia del monitoreo o el número de parámetros analizados en laboratorio.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (2025), en el estudio titulado “Herencia minera: pasivos ambientales y su impacto en el recurso hídrico del río Margajita”, evaluó los efectos de los pasivos ambientales mineros sobre la calidad del agua en la cuenca del río Margajita, ubicada en Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana. La investigación se desarrolló en un contexto de contaminación histórica asociada a actividades mineras, donde los residuos y desmontes abandonados continúan generando procesos de degradación ambiental sobre los ecosistemas hídricos.

El objetivo principal del estudio fue determinar el impacto de los pasivos ambientales mineros sobre las características fisicoquímicas del recurso hídrico, mediante el monitoreo de parámetros indicadores de contaminación asociados a procesos de drenaje ácido de mina y lixiviación de minerales sulfurados.

Metodológicamente, la investigación empleó un enfoque descriptivo basado en monitoreos fisicoquímicos mensuales realizados entre abril y julio de 2024 en tres estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de la cuenca del río Margajita. Los parámetros analizados incluyeron pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y

temperatura, permitiendo evaluar las variaciones hidroquímicas asociadas a la presencia de pasivos mineros.

Los resultados evidenciaron un deterioro significativo de la calidad del agua en determinadas estaciones de monitoreo. Se registró un valor de pH de 4.75 en la estación Margajita 3 durante el mes de mayo, condición considerada altamente ácida y característica de procesos de drenaje ácido de mina (DAM), originados por la oxidación de minerales sulfurados expuestos al contacto con agua y oxígeno. Asimismo, la conductividad eléctrica alcanzó valores de hasta 3,892 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación Margajita 1 durante junio, superando ampliamente los rangos normales de cuerpos de agua no contaminados y evidenciando elevada presencia de sales disueltas y compuestos metálicos en el sistema hídrico.

Desde una interpretación técnica, el estudio demuestra que los pasivos ambientales mineros constituyen fuentes permanentes de contaminación hídrica debido a la generación continua de lixiviados ácidos y movilización de metales pesados hacia cuerpos de agua superficiales. La disminución del pH favorece la solubilización de elementos tóxicos como hierro, aluminio, manganeso y otros metales potencialmente peligrosos, incrementando la toxicidad acuática y alterando el equilibrio ecológico de los ecosistemas fluviales.

Asimismo, los altos valores de conductividad eléctrica indican una elevada carga iónica derivada de sulfatos, metales disueltos y productos de meteorización química asociados a residuos mineros expuestos. Estas alteraciones hidroquímicas afectan la calidad del agua para consumo humano, riego agrícola y preservación de la vida acuática, además de incrementar los riesgos de bioacumulación y degradación ambiental a largo plazo.

Las conclusiones del estudio resaltan la necesidad de implementar medidas integrales de remediación ambiental, entre las que destacan el uso de humedales artificiales para tratamiento pasivo de drenajes ácidos, reforestación ribereña,

monitoreo ambiental continuo y programas de educación ambiental comunitaria orientados a fortalecer la gestión sostenible de las cuencas afectadas por minería.

Cobeña-Navarrete et al. (2023), en su investigación titulada “Pasivos ambientales, un análisis de importancia. Caso comunidad San Miguel de Sarampión, Bolívar – Ecuador”, analizaron la problemática asociada a los pasivos ambientales presentes en la microcuenca Sarampión, ubicada en el cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador. El estudio se enfocó en evaluar el nivel de afectación ambiental generado por diferentes fuentes contaminantes sobre el cuerpo receptor denominado estero Sarampión, considerando la necesidad de fortalecer la sostenibilidad ambiental y la gestión de los recursos hídricos.

El objetivo principal de la investigación fue determinar la importancia ambiental de los pasivos existentes en la microcuenca, mediante la identificación, caracterización y evaluación de las fuentes de contaminación que afectan el ecosistema hídrico y el entorno natural de la comunidad San Miguel de Sarampión.

Torres Zevallos et al. (2024), en su investigación titulada “Tratamiento electroquímico mejorado para la remoción de metales de suelos contaminados por pasivos ambientales mineros”, publicada en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental, evaluaron la eficacia del tratamiento electroquímico como alternativa de remediación para suelos contaminados por pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú. El estudio parte de la problemática ambiental generada por los residuos mineros con altas concentraciones de metales pesados, los cuales representan un riesgo potencial para la calidad del suelo, agua y aire, además de afectar negativamente los ecosistemas y la salud humana.

El objetivo principal de la investigación fue determinar la eficiencia del tratamiento electroquímico en la remoción de plomo (Pb), cadmio (Cd) y zinc (Zn) presentes en suelos contaminados por PAM, evaluando el efecto de diferentes soluciones de mejora y la distribución espacial de los metales durante el proceso de descontaminación.

Metodológicamente, el estudio utilizó un diseño factorial mixto experimental, considerando como variables de análisis el uso de ácido acético y ácido nítrico como soluciones de mejora, así como distintas distancias del suelo respecto al ánodo. Los ensayos se realizaron por triplicado en celdas de acrílico durante cinco días, aplicando una potencia de 30 V y empleando ácido nítrico como fluido catódico. Posteriormente, se evaluaron las concentraciones residuales de Pb, Cd y Zn mediante análisis fisicoquímicos.

Los resultados evidenciaron que el ácido nítrico presentó mayor eficiencia en la remoción de metales pesados en comparación con el ácido acético. Se registraron reducciones de hasta 40 % para plomo (Pb), 34 % para zinc (Zn) y 23 % para cadmio (Cd), demostrando que el tratamiento electroquímico favorece significativamente la movilización y extracción de contaminantes metálicos presentes en el suelo. Asimismo, se observó que la distribución espacial de los metales después del tratamiento mostró una tendencia homogénea, descartándose un gradiente creciente de concentración entre las regiones anódica y catódica.

Desde una interpretación técnica, el estudio demuestra que los pasivos ambientales mineros constituyen fuentes persistentes de contaminación por metales pesados, capaces de alterar las propiedades químicas del suelo y generar procesos de lixiviación hacia cuerpos de agua superficiales y subterráneos. La presencia de Pb, Cd y Zn representa un riesgo ambiental debido a su potencial tóxico, movilidad geoquímica y capacidad de bioacumulación en organismos vivos.

Asimismo, la investigación evidencia que el tratamiento electroquímico es una tecnología viable para la remediación de áreas impactadas por PAM, debido a que permite reducir las concentraciones metálicas mediante procesos de electromigración, electroósmosis y electroforesis inducidos por corriente eléctrica. El uso de ácido nítrico como solución de mejora incrementa la conductividad y favorece la solubilización de metales, optimizando la eficiencia del tratamiento.

Las conclusiones señalan que la aplicación de tecnologías electroquímicas representa una alternativa sostenible y eficiente para la recuperación de suelos contaminados por pasivos mineros, contribuyendo a disminuir el riesgo de contaminación ambiental y proteger los recursos hídricos cercanos.

Metodológicamente, la investigación adoptó un enfoque aplicado y descriptivo, sustentado en visitas de campo para la identificación y georreferenciación de los pasivos ambientales presentes en el área de estudio. La información recopilada fue registrada mediante fichas estandarizadas de evaluación ambiental, permitiendo posteriormente establecer el nivel de importancia de cada pasivo ambiental sobre el cuerpo receptor utilizando matrices de valoración ambiental.

Los resultados evidenciaron la existencia de 20 pasivos ambientales distribuidos en diferentes sectores de la microcuenca. Entre los principales impactos identificados se encontraron acumulación de residuos sólidos en 12 puntos críticos, presencia de cultivos agrícolas en zonas ribereñas, descargas directas de aguas residuales, obstrucción del cauce natural del estero y actividades pecuarias cercanas al recurso hídrico. Asimismo, el análisis de importancia ambiental determinó que 12 pasivos presentan una afectación moderada y 8 poseen una importancia ambiental alta debido a su influencia directa sobre la calidad del agua y la estabilidad ecológica del ecosistema.

Desde una interpretación técnica, el estudio demuestra que los pasivos ambientales generan procesos de deterioro progresivo sobre los cuerpos hídricos mediante alteraciones físicas, químicas y biológicas del entorno acuático. La acumulación de residuos sólidos y descargas residuales favorecen el incremento de materia orgánica, sólidos suspendidos y contaminantes asociados que pueden modificar parámetros fisicoquímicos del agua, tales como turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y carga microbiológica.

Araujo Medina et al. (2025), en la investigación titulada “Diagnóstico de los pasivos ambientales mineros producto de la extracción de oro aluvial en el municipio

de Barranco de Loba, Bolívar”, evaluaron la problemática ambiental asociada a los pasivos ambientales mineros (PAM) generados por la minería aurífera aluvial en el corregimiento Minas de Santa Cruz, departamento de Bolívar, Colombia. El estudio se desarrolló considerando que la informalidad minera, la limitada fiscalización ambiental y la ausencia de gobernabilidad territorial constituyen factores determinantes en la generación y permanencia de áreas degradadas por actividades extractivas.

El objetivo principal de la investigación fue caracterizar las zonas con indicios de pasivos ambientales mineros, evaluar el grado de afectación ambiental generado por la extracción de oro aluvial y proponer soluciones basadas en la naturaleza (SbN) orientadas a la recuperación ecológica y al desarrollo sostenible de la región.

Metodológicamente, el estudio adoptó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental de tipo descriptivo, sustentado en la recolección y análisis de datos ambientales mediante muestreo sistemático en áreas impactadas por minería abandonada. La investigación se estructuró en tres fases: caracterización de las áreas de extracción minera abandonadas, establecimiento de una metodología para la identificación y evaluación de los PAM, y formulación de estrategias de restauración ambiental mediante soluciones basadas en la naturaleza.

Los resultados evidenciaron que las concentraciones de cianuro, mercurio y plomo en las muestras de agua se encontraban por debajo de niveles considerados peligrosos, indicando una afectación hídrica relativamente baja en determinados sectores evaluados. Sin embargo, en las muestras de suelo se registraron concentraciones elevadas de plomo por encima de los límites aceptables, evidenciando contaminación significativa asociada a la acumulación histórica de residuos mineros y sedimentos contaminados derivados de la actividad aurífera.

Desde una interpretación técnica, el estudio demuestra que los pasivos ambientales mineros derivados de la extracción de oro aluvial generan procesos de degradación progresiva sobre los componentes ambientales, especialmente el suelo

y los cuerpos hídricos superficiales. La movilización de metales pesados y compuestos tóxicos provenientes de residuos mineros incrementa el riesgo de contaminación difusa, alterando las propiedades fisicoquímicas del suelo y favoreciendo procesos de lixiviación hacia las fuentes de agua.

Asimismo, la investigación evidencia que las actividades mineras informales favorecen procesos de erosión, pérdida de cobertura vegetal, sedimentación y alteración de ecosistemas acuáticos, afectando la estabilidad ecológica y la calidad ambiental de las áreas intervenidas. La presencia de plomo en concentraciones elevadas representa un riesgo ambiental significativo debido a su persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación en organismos vivos.

Las conclusiones del estudio señalan que las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), como la revegetación, restauración ecológica y recuperación de coberturas vegetales, constituyen alternativas técnicamente viables para la rehabilitación de ecosistemas degradados por actividades mineras. Asimismo, resaltan la necesidad de fortalecer los mecanismos de control ambiental y gestión sostenible de los pasivos ambientales mineros en regiones afectadas por minería aurífera.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El estudio desarrollado por Stensrud & Langdon (2023) analiza los impactos ambientales acumulativos ocasionados por las actividades mineras en los ecosistemas hídricos altoandinos del Perú, especialmente en comunidades rurales de Huancavelica. Desde una perspectiva técnica y socioambiental, la investigación evidencia que la contaminación minera constituye un proceso de degradación progresiva y persistente que afecta tanto la calidad fisicoquímica del agua como las dinámicas sociales y culturales vinculadas al recurso hídrico.

Técnicamente, el estudio describe que los pasivos y operaciones mineras generan liberación continua de contaminantes como metales pesados (plomo, cadmio, arsénico, zinc y hierro), sólidos suspendidos y drenaje ácido de mina (DAM),

los cuales alteran las propiedades naturales de las aguas superficiales y subterráneas. Estos procesos producen disminución del pH, incremento de la conductividad eléctrica, aumento de sulfatos disueltos y presencia de elementos tóxicos capaces de afectar la biota acuática y la salud humana.

Asimismo, la investigación interpreta que la contaminación hídrica en contextos mineros no siempre se manifiesta mediante eventos agudos o desastres visibles, sino mediante procesos lentos de acumulación de contaminantes que deterioran gradualmente los ecosistemas acuáticos. Este fenómeno es definido como “violencia lenta”, debido a que sus efectos se desarrollan de manera progresiva y muchas veces pasan desapercibidos por los sistemas institucionales de control ambiental.

Desde el enfoque de ingeniería ambiental, el estudio demuestra la existencia de una insuficiente articulación entre los mecanismos de fiscalización ambiental, los estándares de calidad del agua y la percepción real de afectación experimentada por las comunidades campesinas. Esto refleja limitaciones en los procesos de monitoreo ambiental, gestión de pasivos mineros y aplicación efectiva de medidas de remediación y cierre ambiental.

Los resultados permiten interpretar que la degradación de la calidad del agua en zonas mineras altoandinas constituye un problema multidimensional, donde convergen impactos fisicoquímicos, ecológicos y sociales. En consecuencia, el estudio resalta la necesidad de fortalecer los programas de monitoreo ambiental, implementar sistemas eficientes de tratamiento de drenaje ácido y garantizar procesos de cierre de minas técnicamente sostenibles para reducir riesgos ambientales a largo plazo.

Ñaupari Molina (2022), en la tesis titulada “Evaluación de los efectos del pasivo ambiental minero con cierre definitivo y la calidad del agua del río Santa, Región Áncash, 2022”, desarrollada en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, evaluó la influencia de un pasivo ambiental minero con cierre definitivo

sobre la calidad del agua del río Santa, ubicado en la región Áncash. La investigación se enfocó en determinar si las medidas de cierre ambiental implementadas permitieron reducir los impactos de contaminación minera sobre los cuerpos de agua superficiales del área de influencia.

El objetivo principal del estudio fue demostrar que un pasivo ambiental minero con cierre definitivo influye significativamente en la mejora de la calidad del agua del río Santa, verificando el cumplimiento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) vigentes en el Perú.

Metodológicamente, la investigación adoptó un enfoque observacional, prospectivo, transversal y analítico, con diseño no experimental de nivel explicativo. La recolección de datos se realizó mediante monitoreos en estaciones de muestreo ubicadas aguas arriba y aguas abajo del relave Ticapampa, durante el periodo de estiaje correspondiente al mes de noviembre de 2021. Las muestras de agua superficial fueron analizadas en laboratorio certificado para determinar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos asociados a contaminación minera.

Los resultados evidenciaron que las concentraciones de metales evaluadas en las estaciones de monitoreo E1 y E2 se encontraron dentro de los límites establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Categoría III, subcategoría D2. Asimismo, los parámetros microbiológicos, particularmente coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, registraron concentraciones inferiores a los valores máximos permitidos por la normativa ambiental vigente.

Desde una interpretación técnica, el estudio demuestra que la implementación adecuada de medidas de cierre definitivo en pasivos ambientales mineros contribuye significativamente a la estabilización geoquímica de los residuos mineros y a la reducción de procesos de lixiviación de metales hacia los cuerpos de agua superficiales. La disminución de contaminantes metálicos y microbiológicos evidencia que las estrategias de encapsulamiento, control de escorrentías y manejo de drenajes

pueden reducir el riesgo de contaminación hídrica asociado a antiguos depósitos mineros.

Asimismo, la investigación confirma que el monitoreo ambiental continuo constituye una herramienta fundamental para verificar la eficacia de los planes de cierre ambiental y evaluar el comportamiento de parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y concentración de metales pesados en ecosistemas afectados por actividades extractivas.

Las conclusiones del estudio señalan que el pasivo ambiental minero con cierre definitivo cumple con los objetivos ambientales y sociales establecidos para la recuperación del área intervenida, demostrando que las medidas de remediación implementadas permitieron mantener la calidad del agua del río Santa dentro de los estándares ambientales nacionales.

Condeña Ocsa (2024), en la tesis titulada “Evaluación técnico y económica para la remediación de pasivos ambientales mineros generados por la ex-unidad minera Caridad-Huarocharí-Lima”, desarrollada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, evaluó las condiciones técnicas y económicas necesarias para la remediación de pasivos ambientales mineros (PAM) abandonados por la antigua Unidad Minera Caridad, ubicada en el distrito de Carampoma, provincia de Huarocharí, región Lima, Perú. La investigación se enfocó en determinar el nivel de afectación ambiental generado por infraestructuras mineras abandonadas y proponer medidas de rehabilitación orientadas a reducir riesgos ambientales y cumplir los estándares de calidad ambiental vigentes.

El objetivo principal del estudio fue realizar una evaluación técnica y económica de los pasivos ambientales mineros existentes en la ex-unidad minera Caridad, identificando las medidas de remediación más adecuadas para garantizar la estabilidad física, hidrológica y geoquímica de las áreas impactadas.

Metodológicamente, la investigación se desarrolló mediante reconocimiento in situ de los pasivos ambientales mineros, empleando un enfoque descriptivo y técnico

basado en la identificación y caracterización de labores mineras subterráneas abandonadas, tales como bocaminas, chimeneas, piques, tajeos, trincheras y medias barretas, así como depósitos de desmontes y relaves mineros. Asimismo, se evaluaron indicadores relacionados con estabilidad física, hidrología y geoquímica, con el propósito de analizar el potencial de contaminación de agua y suelo conforme a la normativa ambiental peruana.

Los resultados evidenciaron que los pasivos ambientales mineros existentes presentan alto riesgo de afectación ambiental debido a procesos de erosión, inestabilidad física y potencial generación de drenaje ácido de mina (DAM). Asimismo, se identificó la necesidad de implementar medidas de rehabilitación y control para reducir la movilización de contaminantes hacia los ecosistemas circundantes, especialmente cuerpos de agua superficiales y suelos adyacentes.

Desde una interpretación técnica, el estudio demuestra que los depósitos de desmontes y relaves mineros abandonados constituyen fuentes potenciales de contaminación ambiental debido a la oxidación de minerales sulfurados y generación de lixiviados con contenido metálico. Estos procesos pueden alterar las propiedades fisicoquímicas del agua mediante disminución del pH, incremento de sulfatos, aumento de conductividad eléctrica y liberación de metales pesados hacia el entorno hídrico.

Asimismo, la investigación resalta la importancia de evaluar integralmente los componentes de estabilidad geotécnica, hidrológica y geoquímica en los planes de remediación de PAM, debido a que la falta de control de escorrentías y drenajes favorece la dispersión de contaminantes y el deterioro progresivo de los ecosistemas. Técnicamente, se propusieron medidas de remediación como construcción de muros de gavión y mampostería, sistemas de drenaje, revestimientos, trabajos de corte y relleno, rehabilitación de labores abandonadas y tratamiento de materiales contaminantes.

Las conclusiones señalan que la remediación de pasivos ambientales mineros requiere una adecuada planificación técnica y económica orientada a garantizar la recuperación ambiental y la reducción de riesgos para la salud humana y los recursos naturales. Asimismo, el estudio destaca el rol fundamental del Estado peruano en la gestión y financiamiento de programas de remediación ambiental en zonas afectadas por minería abandonada.

Estos antecedentes guardan relación con la presente investigación titulada “Evaluación de la Calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar – 2025”, debido a que los estudios abordan la problemática de los pasivos ambientales mineros y la necesidad de implementar medidas técnicas de remediación para prevenir la contaminación de los recursos hídricos. Además, aporta fundamentos metodológicos relacionados con la evaluación de estabilidad geoquímica e hidrológica de los PAM y su influencia sobre la calidad ambiental del agua y suelo.

2.1.3. Antecedentes locales

INGEMMET, (2022) En su revista titulado *“Evaluación ambiental de los recursos hídricos y suelos en el área minera de Cerro de Pasco”*, realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET), analiza de forma detallada la contaminación existente en suelos y cuerpos de agua superficiales en la zona de influencia minera de Cerro de Pasco. La investigación parte de la constatación de una grave problemática ambiental asociada a pasivos mineros, relaves y botaderos abandonados, que han generado alteraciones en la calidad del recurso hídrico y del suelo. El objetivo fue determinar los niveles de contaminación por metales pesados y evaluar los riesgos ambientales asociados. Se empleó una metodología cuantitativa basada en el muestreo sistemático de agua y suelo, con análisis de parámetros fisicoquímicos, metales pesados y características edafológicas. Los resultados revelaron concentraciones elevadas de arsénico, plomo, cadmio y zinc que superan los estándares de calidad ambiental y que representan un riesgo significativo para la

salud y el ecosistema. La conclusión central del estudio establece que la actividad minera ha dejado una huella profunda de deterioro ambiental en Cerro de Pasco, evidenciando la necesidad de fortalecer los mecanismos de control ambiental y de remediación integral.

Schüth et al. (2005) en su investigación titulado *“Water management for acid mine drainage control at the polymetallic Zn–Pb–(Ag–Bi–Cu) deposit Cerro de Pasco, Peru”* aborda el problema del drenaje ácido de mina (AMD) generado por las operaciones mineras pasadas y actuales en el yacimiento polimetálico de Cerro de Pasco. El objetivo principal fue diseñar e implementar un sistema integral de gestión del agua para prevenir y controlar la generación de aguas ácidas, que son altamente contaminantes por su carga de metales disueltos y acidez. La metodología utilizada combinó estudios hidrogeológicos, análisis geoquímicos de campo, modelamiento del flujo subterráneo y evaluación de puntos críticos de generación de AMD. Los resultados evidenciaron que el sistema propuesto, que incluye pozas de contención, sistemas de bombeo y tratamiento de aguas, puede reducir significativamente el impacto ambiental sobre cuerpos de agua superficiales y subterráneos. La investigación concluye que una gestión adecuada del recurso hídrico, basada en el monitoreo permanente y en tecnologías de tratamiento pasivo y activo, es clave para mitigar los efectos del AMD en ambientes mineros de alta complejidad como Cerro de Pasco.

Cerro de Pasco Resources (2025) en su estudio titulado *“Positioned to Unlock the Value of the World’s Largest Above-Ground Metal Resource”* desarrollado por Cerro de Pasco Resources (2025), proporciona un análisis técnico y económico del aprovechamiento del pasivo ambiental Excelsior y relaves Quiulacocha, situados en Cerro de Pasco, Perú. Este documento describe la magnitud del recurso metálico sobre el suelo, incluyendo metales como plata, plomo, zinc, cobre, oro, galio e indio, acumulados a lo largo de décadas de actividad minera, con una estimación de más de 75 millones de toneladas de material y un valor potencial de \$6.3 mil millones bajo

el escenario de recuperación optimista. La metodología empleada se basó en campañas de perforación (Fase 1), estudios mineralógicos y metalúrgicos, así como un análisis de recuperación metalúrgica con recuperación promedio del 70 %. Los resultados sugieren una viabilidad técnica para revalorizar estos residuos mineros mediante tecnologías de bajo impacto ambiental, incluyendo perforación sónica sin uso de agua y almacenamiento criogénico de muestras. Las conclusiones destacan la oportunidad económica y estratégica del proyecto, además de su contribución potencial a la remediación ambiental y la transición energética global.

Delgado et al. (2020) en su estudio *“Analysis of water contamination in the mining zone of Cerro de Pasco, Peru using the grey clustering method”* evalúa la calidad del agua en tres cuerpos hídricos de la zona minera de Cerro de Pasco (ríos Huallaga, San Juan y Tingo), empleando el método de agrupamiento gris (grey clustering) basado en funciones de blanqueamiento triangulares. El objetivo principal del estudio fue analizar el estado del recurso hídrico en función de la normativa peruana (DS N.º 015-2015-MINAM), utilizando datos proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La metodología empleada permitió clasificar 14 puntos de monitoreo según su calidad de agua: 57.1% con calidad aceptable (solo requiere desinfección), 21.4% con calidad intermedia (requiere tratamiento convencional) y 21.4% con calidad deficiente (necesita tratamiento especial). Se concluyó que los puntos más contaminados están vinculados directamente a actividades mineras y depósitos de residuos, como las zonas cercanas a Atacocha o al botadero de Rumillana. Además, se destaca que el método de agrupamiento gris es más eficaz y económico frente a otros métodos de análisis multicriterio, al incorporar incertidumbre en la evaluación y permitir una clasificación objetiva con pocos datos.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Pasivos ambientales mineros (PAM)

Los pasivos ambientales mineros (PAM) constituyen uno de los principales problemas ambientales derivados de las actividades extractivas, debido a que

representan fuentes permanentes o potenciales de contaminación que afectan los componentes físicos, biológicos y sociales del ambiente. En términos generales, los pasivos ambientales son considerados como las obligaciones, deudas o responsabilidades ambientales generadas por actividades económicas que ocasionaron daños ecológicos y sociales y que no fueron adecuadamente remediados o compensados (Correa García, s.f.).

De acuerdo con el enfoque de la justicia ambiental, los pasivos ambientales no solo comprenden daños físicos sobre el ecosistema, sino también impactos socioculturales y económicos que afectan directamente a las poblaciones vinculadas al territorio. En este sentido, los daños pueden manifestarse en tres dimensiones principales: i) dimensión biofísica, relacionada con la degradación de ecosistemas y contaminación ambiental; ii) dimensión sociocultural, vinculada a afectaciones sobre la salud y calidad de vida de las comunidades; y iii) dimensión económica, asociada a pérdidas productivas y afectación de medios de subsistencia (Correa García, s.f.).

Desde la perspectiva minera, los PAM comprenden instalaciones, depósitos y residuos abandonados o inactivos generados por operaciones extractivas, tales como relaves, desmontes, bocaminas, tajos, chimeneas, piques y drenajes contaminantes que representan riesgos potenciales para el ambiente y la salud humana (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021).

En el Perú, la regulación de los pasivos ambientales se encuentra establecida mediante la normativa ambiental minera y de hidrocarburos. Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2013), los pasivos ambientales son instalaciones o residuos abandonados que continúan generando contaminación aun después del cese de las actividades extractivas. Estos pueden producir procesos de lixiviación, generación de drenaje ácido de mina (DAM), erosión y liberación de metales pesados hacia los ecosistemas circundantes.

Técnicamente, los PAM representan fuentes de contaminación persistente debido a la oxidación de minerales sulfurados presentes en desmontes y relaves

mineros. Este proceso genera ácido sulfúrico y favorece la movilización de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), zinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu), contaminando cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Younger et al., 2002).

Uno de los principales mecanismos de contaminación asociados a los PAM es el drenaje ácido de mina (DAM), fenómeno hidrogeoquímico producido por la interacción entre agua, oxígeno y minerales sulfurados expuestos. Este proceso ocasiona disminución del pH, incremento de sulfatos y aumento de conductividad eléctrica en los cuerpos hídricos, alterando significativamente la calidad ambiental del agua (Akcil & Koldas, 2006).

Asimismo, los pasivos ambientales mineros generan impactos sobre la estabilidad física y geotécnica del territorio, debido a procesos de erosión, sedimentación y remoción de masas, especialmente en zonas de alta pendiente o con escaso control de drenajes (Condeña Ocsa, 2024).

Desde el enfoque de gestión ambiental, la identificación, caracterización y remediación de los PAM constituye una prioridad para prevenir riesgos ambientales y garantizar la recuperación de ecosistemas afectados por actividades extractivas. Las estrategias de remediación incluyen estabilización física, encapsulamiento de residuos, revegetación, construcción de sistemas de drenaje, tratamiento de aguas contaminadas y monitoreo ambiental permanente (Torres Zevallos et al., 2024).

En consecuencia, la evaluación de los pasivos ambientales mineros resulta fundamental para determinar su influencia sobre la calidad del agua, suelo y ecosistemas asociados, especialmente en zonas históricamente impactadas por minería, como ocurre en el distrito de Simón Bolívar, donde la presencia de desmontes y residuos mineros representa un riesgo potencial para los recursos hídricos y la salud de la población.

2.2.2. Calidad del agua

La calidad del agua constituye uno de los principales indicadores ambientales para evaluar el estado de conservación de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos hídricos aptos para el consumo humano, actividades agrícolas, industriales y preservación de la vida acuática. Su importancia radica en que el agua es un recurso esencial para el desarrollo de las actividades biológicas, económicas y sociales, por lo que cualquier alteración en sus características físicas, químicas o biológicas puede generar impactos significativos sobre la salud humana y el ambiente (AGQ Labs, s.f.).

La calidad del agua puede definirse como el conjunto de características físicas, químicas, microbiológicas y biológicas que determinan su aptitud para un uso específico. En este sentido, la calidad hídrica no es absoluta, sino que depende del tipo de uso al que será destinada el agua, ya sea para consumo humano, riego agrícola, uso pecuario, actividades industriales o conservación de ecosistemas acuáticos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Desde el punto de vista ambiental, la calidad del agua puede verse alterada por factores naturales y antrópicos. Entre los factores naturales destacan las características geológicas del terreno, procesos de erosión, precipitación y composición mineralógica de los suelos; mientras que entre los factores antrópicos sobresalen las descargas de aguas residuales, residuos industriales, actividades agrícolas y pasivos ambientales mineros, los cuales pueden incorporar contaminantes físicos, químicos y microbiológicos al recurso hídrico (ANA, 2016).

En zonas de influencia minera, la calidad del agua suele afectarse por procesos de lixiviación de metales pesados, generación de drenaje ácido de mina (DAM) y escorrentías contaminadas provenientes de relaves y desmontes mineros. Estos procesos producen alteraciones significativas en parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y concentración de metales potencialmente tóxicos (Younger et al., 2002).

Técnicamente, la evaluación de la calidad del agua se realiza mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que permiten determinar el nivel de contaminación y la aptitud del recurso para diferentes usos.

En el Perú, la calidad del agua se regula mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el cual establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para diferentes categorías de uso del recurso hídrico. Asimismo, el monitoreo de calidad de agua debe realizarse siguiendo los protocolos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), garantizando procedimientos adecuados de muestreo, preservación y análisis de laboratorio.

Desde una perspectiva de ingeniería ambiental, el monitoreo de calidad del agua constituye una herramienta fundamental para identificar fuentes de contaminación, evaluar impactos ambientales y verificar la eficacia de medidas de remediación y cierre ambiental, especialmente en zonas afectadas por actividades mineras y pasivos ambientales.

En consecuencia, la evaluación de la calidad del agua asociada a pasivos ambientales mineros resulta esencial para determinar el nivel de afectación de los ecosistemas hídricos y establecer estrategias de recuperación ambiental sostenibles que permitan proteger los recursos naturales y la salud de las poblaciones cercanas.

2.2.3. Metodologías de evaluación de la calidad del agua.

Los estudios ambientales emplean técnicas estándar de monitoreo de agua para caracterizar su calidad. En campo se miden parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, etc.) con sondas multiparamétricas, y se recogen muestras siguiendo protocolos oficiales como el “*Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos*” de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), tal como se indica en el estudio de evaluación de recursos hídricos en Cerro de Pasco (OEFA, 2022). Estas muestras suelen filtrarse, preservarse con ácido nítrico y analizarse en laboratorio mediante técnicas instrumentales de alta sensibilidad como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), la cual

permite detectar metales pesados a niveles de traza, incluso en partes por trillón (OEFA, 2022). Según Drawell Analytical (2024), esta técnica resulta idónea para cuantificar elementos como Pb, As, Cd o Zn en estudios de contaminación minera. En efecto, estudios en la zona de Cerro de Pasco revelaron concentraciones elevadas de aluminio, manganeso y plomo en cuerpos de agua cercanos a actividades mineras, lo cual es atribuible al drenaje ácido de mina (Delgado et al., 2020). Estas metodologías (medición in situ y análisis por ICP-MS) son necesarias para evaluar la calidad ambiental del recurso hídrico y sus riesgos en escenarios de cierre minero.

2.2.4. Herramientas matemáticas y estadísticas en la evaluación ambiental.

El análisis de datos de calidad del agua requiere herramientas estadísticas que permitan su adecuada interpretación. El uso de métodos multivariados, como análisis de componentes principales (PCA), análisis de conglomerados (cluster) y análisis de factores, es común para identificar agrupamientos o fuentes puntuales y difusas de contaminación (Zhou et al., 2021). Asimismo, es necesario contrastar los resultados analíticos con estándares nacionales (como los ECA y LMP) mediante análisis comparativos para identificar los niveles de excedencia. En la región de Pasco, OEFA (2022) mostró que algunas lagunas presentan concentraciones de metales que superan en cientos de veces los límites establecidos por la normativa peruana. Además, la interpretación de resultados se refuerza con el uso de algoritmos matemáticos que consideran la incertidumbre, como el método de clustering gris aplicado por Delgado et al. (2020), que permite clasificar adecuadamente la calidad del agua incluso cuando las muestras presentan similitudes aparentes. Así, el uso combinado de estadística descriptiva, análisis multivariado y herramientas de modelamiento cuantitativo brinda solidez a las conclusiones ambientales en cuanto a riesgos y cumplimiento normativo.

2.2.5. Marco legal peruano sobre calidad de agua y pasivos mineros.

La legislación peruana establece instrumentos normativos para la protección del recurso hídrico, destacando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP), los cuales son de obligatorio cumplimiento para toda actividad industrial, incluida la minería. Según el Instituto de Estudios Ambientales (2023), los ECA regulan la calidad del agua según su uso (consumo humano, recreativo, agrícola, conservación de vida acuática), mientras que los LMP regulan la calidad de los efluentes que se descargan en cuerpos de agua. La Ley N.º 28271 sobre pasivos ambientales mineros, según señala el Sistema Nacional de Información Ambiental (2024), obliga a identificar, registrar y remediar estos pasivos, incluyendo la evaluación periódica de la calidad ambiental en la etapa de cierre. En este marco, cualquier descarga debe cumplir los LMP para efluentes mineros establecidos por el Ministerio del Ambiente. Estas normativas, sumadas al monitoreo ambiental continuo exigido por la legislación, constituyen el marco legal que orienta y respalda técnicamente la evaluación ambiental del pasivo minero Excelsior.

2.2.6. Metodología de ensayo

La utilizada para la determinación de metales totales en las muestras de agua y residuos se fundamenta en la técnica de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), una de las más avanzadas y sensibles en el campo del análisis ambiental. Conforme a la norma de referencia EPA Method 200.8, Revisión 5.4 (1994), validada y aplicada en contextos actuales, este método permite la detección precisa de elementos traza en concentraciones extremadamente bajas, para evaluar con alta fiabilidad la presencia de metales pesados como plomo, arsénico, cadmio, zinc o mercurio en matrices hídricas. Esta técnica cuantifica con límites de detección del orden de partes por trillón para el cumplimiento de normativas ambientales rigurosas y el monitoreo en zonas con potenciales impactos.

El análisis fue realizado bajo condiciones de acreditación oficiales en el laboratorio IAS TL-833 CHALACA, lo que asegura el cumplimiento de estándares de

calidad y trazabilidad exigidos por las autoridades regulatorias nacionales. La aplicación de la norma EPA 200.8 es reconocida por su metodológica en estudios de evaluación ambiental, donde se requiere un seguimiento sistemático de contaminantes persistentes. Por lo tanto, esta base analítica constituye una herramienta para la gestión ambiental y para la verificación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa peruana en cuerpos receptores de agua.

2.2.7. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos

Permisibles (LMP)

Para sustentar los resultados obtenidos en el análisis del recurso hídrico de los puntos de monitoreo Margen Izquierda: AS-MI-CN-01, AS-MI-CN-02, y margen derecha: AS-MD-CN-01, AS-MD-CN-02, imprescindible aplicar los principios normativos establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), según el D.S. N.º 004-2017-MINAM, su aplicación es obligatoria para toda actividad productiva donde las concentraciones máximas de contaminantes que un cuerpo receptor (como ríos, lagunas o manantiales) no expongan en riesgo la salud humana o los ecosistemas. Por su parte, los LMP establecidos en el D.S. N.º 010-2010-MINAM para efluentes minero-metalúrgicos regulan la calidad del vertido autorizado desde las fuentes contaminantes hacia el ambiente, no se aplica en nuestro caso.

A continuación, se presenta un conjunto de tablas consolidada de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Categoría 3, correspondiente a Riego de vegetales y Bebida de animales, conforme al D.S. N.º 004-2017-MINAM (Perú), donde la tabla está estructurada para uso técnico en informes ambientales, monitoreos y evaluaciones comparativas.

Tabla 1 *Parámetros físicos y organolépticos*

Parámetro	Unidad	Riego de vegetales	Bebida de animales
pH	Unid. pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Conductividad eléctrica	μS/cm	≤ 2 500	≤ 5000
Sólidos Totales Suspendidos (STS)	mg/L	≤ 50	≤ 100
Turbidez	UNT	≤ 25	≤ 50
Color verdadero	U Pt-Co	≤ 100	≤ 100
Temperatura	°C	Δ ≤ 3 °C respecto al cuerpo receptor	Δ ≤ 3 °C

Tabla 2 *Parámetros inorgánicos*

Parámetro	Unidad	Riego de vegetales	Bebida de animales
Aluminio (Al)	mg/L	5,0	5,0
Arsénico (As)	mg/L	0,10	0,20
Bario (Ba)	mg/L	0,7	“
Boro (B)	mg/L	1	5,0
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01	0,05
Cobre (Cu)	mg/L	0,20	0,50
Cromo total (Cr)	mg/L	0,10	1,0
Hierro (Fe)	mg/L	5,0	“
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001	0,01
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20	0,20
Níquel (Ni)	mg/L	0,20	1,0
Plomo (Pb)	mg/L	0,05	0,05
Zinc (Zn)	mg/L	2,0	24,0

Tabla 3 *Nutrientes*

Parámetro	Unidad	Riego de vegetales	Bebida de animales
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	100	100
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	100	100
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L	5	10
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L	5	10

Tabla 4 *Parámetros microbiológicos*

Parámetro	Unidad	Riego de vegetales	Bebida de animales
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	≤ 1 000	≤ 1 000
Escherichia coli	NMP/100 mL	≤ 1 000	“

2.3. Definición de términos básicos

A. Análisis multivariado

El análisis multivariado comprende un conjunto de técnicas estadísticas avanzadas, como el análisis de componentes principales (PCA) y el agrupamiento jerárquico, utilizadas para identificar patrones de contaminación y relaciones entre variables ambientales en estudios de calidad del agua. Estas herramientas permiten interpretar grandes volúmenes de datos y localizar zonas críticas de contaminación ambiental (Hair et al., 2014).

B. Calidad del agua

La calidad del agua es el conjunto de características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas que determinan la aptitud del recurso hídrico para diferentes usos, tales como consumo humano, riego agrícola, uso industrial y preservación de ecosistemas acuáticos (MINAM, 2017).

C. Cianuro libre (WAD)

El cianuro débilmente ácido dissociable (WAD) es una forma química de cianuro que puede liberarse fácilmente bajo condiciones ambientales normales. Este compuesto se asocia principalmente a procesos de extracción de oro y plata y representa riesgos tóxicos para organismos acuáticos y salud humana (Mudder et al., 2001).

D. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un parámetro fisicoquímico que mide la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica debido a la presencia de sales y compuestos iónicos disueltos. Valores elevados pueden indicar contaminación por sulfatos, metales pesados y otros compuestos derivados de actividades mineras (APHA, 2017).

E. Contaminación difusa

La contaminación difusa es aquella que proviene de múltiples fuentes no identificadas específicamente, como escorrentías superficiales y lixiviados provenientes de desmontes y relaves mineros abandonados (Chapman, 1996).

F. Contaminación puntual

La contaminación puntual corresponde a aquella cuya fuente emisora puede identificarse claramente, como canales de descarga, tuberías o efluentes industriales (Metcalf & Eddy, 2014).

G. Drenaje ácido de mina (DAM)

El drenaje ácido de mina es un proceso hidrogeoquímico generado por la oxidación de minerales sulfurados al entrar en contacto con agua y oxígeno, produciendo ácido sulfúrico y liberación de metales pesados hacia cuerpos de agua y suelos (Akcil & Koldas, 2006).

H. Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

El ICP-MS es una técnica instrumental de alta sensibilidad utilizada para detectar y cuantificar metales pesados a niveles traza en muestras ambientales. Es ampliamente empleada en monitoreos de calidad de agua en zonas afectadas por contaminación minera (Thomas, 2013).

I. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Los Estándares de Calidad Ambiental son valores máximos de concentración de contaminantes establecidos por el Ministerio del Ambiente para garantizar que los cuerpos de agua no representen riesgos para la salud humana ni para el ambiente (MINAM, 2017).

J. Evaluación ambiental

La evaluación ambiental es un proceso técnico y legal mediante el cual se analizan las condiciones del ambiente para identificar impactos, fuentes de contaminación y medidas de prevención, mitigación o remediación ambiental (Canter, 1998).

K. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Los Límites Máximos Permisibles son concentraciones máximas de contaminantes permitidas en efluentes antes de su descarga al ambiente. En minería, los LMP regulan las descargas de aguas residuales y relaves para prevenir contaminación ambiental (MINAM, 2010).

L. Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos de alta densidad y toxicidad, tales como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), mercurio (Hg), zinc (Zn) y cobre (Cu), que pueden contaminar cuerpos de agua y suelos debido a procesos de lixiviación y drenaje ácido provenientes de residuos mineros (Alloway, 2013).

M. Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental es el proceso sistemático de medición, observación y análisis de parámetros ambientales con la finalidad de evaluar cambios en la calidad del ambiente y verificar el cumplimiento de estándares normativos (ANA, 2016).

N. Pasivo ambiental minero (PAM)

Un pasivo ambiental minero es toda infraestructura, depósito de residuos, relave o instalación abandonada proveniente de actividades mineras inactivas o cerradas, que representa un riesgo potencial o permanente para la salud humana y el medio ambiente (MINEM, 2004).

O. pH del agua

El pH es un indicador que determina el grado de acidez o alcalinidad del agua en una escala de 0 a 14. Valores bajos de pH suelen asociarse a procesos de drenaje ácido de mina y mayor movilización de metales pesados (APHA, 2017).

P. Plan de cierre ambiental

El plan de cierre ambiental es un instrumento técnico y legal que establece medidas destinadas a prevenir, minimizar y controlar los impactos ambientales

generados por actividades mineras al término de sus operaciones, garantizando la estabilidad física, química e hidrológica del área intervenida (MINEM, 2005).

Q. Recurso hídrico

El recurso hídrico comprende el conjunto de cuerpos de agua superficiales y subterráneos disponibles en un territorio, incluyendo ríos, lagunas, manantiales y acuíferos. Su conservación es fundamental para garantizar el abastecimiento de agua y el equilibrio ecológico (ANA, 2009).

R. Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales corresponden a partículas sólidas no disueltas presentes en el agua, incluyendo sedimentos, arcillas, materia orgánica y residuos minerales. Altas concentraciones de SST afectan la transparencia del agua y la calidad de los ecosistemas acuáticos (APHA, 2017).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis de General

La calidad del agua asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025 presenta alteraciones significativas en sus características fisicoquímicas y concentraciones de metales disueltos, superando en algunos casos los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establecidos por la normativa ambiental peruana.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Las concentraciones de metales disueltos presentes en las muestras de agua asociadas al Pasivo Minero Desmontera Excelsior exceden los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, evidenciando influencia de actividades mineras pasadas.
- b. Las condiciones fisicoquímicas del agua en los distintos puntos de muestreo presentan variaciones significativas que evidencian afectación

de la calidad del recurso hídrico por la influencia del Pasivo Minero Desmontera Excelsior.

- c. Existe una variación temporal y espacial significativa en los parámetros críticos de calidad de agua de las contramuestras, permitiendo identificar zonas de influencia y posibles fuentes de contaminación puntual o difusa asociadas al Pasivo Minero Desmontera Excelsior.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

Ejecución de Plan de Cierre del pasivo minero Excelsior

- Esta variable representa la condición o intervención ambiental que puede influir en el estado del recurso hídrico.

2.5.2. Variable dependiente

Calidad del recurso hídrico

- Esta variable depende del estado y gestión del pasivo minero en su fase de ejecución de plan de cierre.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
INDEPENDIENTE Ejecución del Plan de Cierre Ambiental del Excelsior	Comprende el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de control destinadas a prevenir, mitigar y remediar los impactos ambientales generados por las actividades mineras, por ende una ejecución deficiente del cierre minero permite la persistencia de contaminación por metales pesados en cuerpos de agua superficiales y sedimentos, generando procesos de degradación ambiental de largo plazo (Heikkinen et al., 2023).	La variable se mide evaluando el grado de cumplimiento del plan de cierre ambiental del Excelsior, contrastando dichas acciones con los resultados obtenidos en la calidad del agua monitoreada en los puntos de muestreo.	Remediación hídrica	Empleo de colectores hídricos alrededor del Excelsior
				Estabilización de los pasivos mineros
DEPENDIENTE Calidad del recurso hídrico	Se define como el estado físico, químico y ambiental del agua superficial, determinado por la presencia de parámetros fisicoquímicos y concentraciones de metales pesados que condicionan su aptitud para el consumo, la protección de los ecosistemas y otros. En contextos mineros andinos, las actividades extractivas afectan la calidad del agua (Heikkinen et al., 2023).	La variable se mide mediante el análisis de muestras de agua recolectadas en distintos puntos de muestreo, evaluando parámetros fisicoquímicos y concentraciones de metales pesados, y comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes para agua.	Metales pesados disueltos	Concentración de arsénico (As)
				Concentración de plomo (Pb)
				Concentración de cadmio (Cd)
				Concentración de zinc (Zn)
			Condiciones fisicoquímicas	pH del agua
				Conductividad eléctrica
			Variación espacial y temporal	Oxígeno disuelto
				Diferencias de concentración entre puntos de muestreo
				Variación estacional de parámetros críticos

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

La investigación realizada es de tipo aplicada, dado que se orienta a resolver un problema concreto relacionado con la calidad del agua en la ejecución de plan de cierre ambiental Excelsior, en Cerro de Pasco. Su finalidad no es solo ampliar el conocimiento teórico, sino generar información útil para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión ambiental y la salud pública. Al determinar la concentración de metales pesados disueltos y evaluar parámetros fisicoquímicos, se pretende identificar riesgos ambientales reales y proponer acciones correctivas basadas en evidencia. Este tipo de investigación se caracteriza por su finalidad práctica y transformadora en contextos específicos (Hernández Sampieri, Fernández & Baptista, 2014).

3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es descriptivo correlacional, ya que por un lado, busca describir los niveles de metales pesados disueltos (como arsénico, plomo, cadmio, zinc y mercurio) y parámetros fisicoquímicos del agua (pH, sólidos suspendidos, cianuro, entre otros) en diferentes puntos de muestreo; y por otro, establecer relaciones entre estas variables para identificar patrones de contaminación. El enfoque descriptivo permite caracterizar el estado actual del recurso hídrico, mientras

que el componente correlacional analiza cómo ciertas condiciones o concentraciones se vinculan entre sí o con posibles fuentes de contaminación. Este nivel de investigación permite interpretar fenómenos ambientales desde una perspectiva cuantitativa, sin manipular variables (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación empleado es el hipotético-deductivo, porque se parte de una hipótesis formulada con base en el conocimiento teórico y técnico existente sobre la contaminación hídrica. A través de este método, se plantean suposiciones respecto a la presencia de metales pesados disueltos y alteraciones en los parámetros fisicoquímicos, las cuales serán contrastadas mediante el uso del método científico, aplicando procedimientos sistemáticos de recolección, medición y análisis de datos cuantitativos. También este enfoque permite validar o refutar las hipótesis mediante la observación empírica y la comparación con los estándares de calidad ambiental (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, porque no se manipula la variable independiente de estudio, sino que se observan y analizan tal como se presentan en el entorno natural. En este caso, se recolectan muestras de agua en diferentes puntos sin alterar los posibles factores de contaminación. El propósito es analizar la calidad del agua a partir de los niveles reales de metales pesados y parámetros fisicoquímicos, permitiendo describir y correlacionar los datos obtenidos con posibles fuentes de impacto ambiental (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está conformada por el total de registros generados en el estudio ambiental del recurso hídrico durante la ejecución del plan de cierre ambiental Excelsior que tiene 69 Ha. Esta población incluye todos los puntos de monitoreo,

parámetros fisicoquímicos y químicos analizados, tales como metales totales y disueltos, cianuro, sólidos suspendidos, sulfatos, entre otros.

3.5.2. Muestra

El muestreo se realizó en 4 puntos de monitoreo, llevadas a cabo el 19 de marzo y el 20 de marzo de 2025. Las muestras recolectadas el 19 de marzo correspondieron a los puntos ubicados en la margen derecha (AS-MD-CN-01 y AS-MD-CN-02), mientras que las muestras obtenidas el 20 de marzo (campana complementaria) correspondieron a la margen izquierda (AS-MI-CN-01 y AS-MI-CN-02), Cada punto de muestreo fue georreferenciado mediante coordenadas UTM y registrado a altitudes comprendidas entre 4 289 y 4 312 m s. n. m.

Cada muestra genero un conjunto de parámetros de calidad de agua, conformado por parámetros fisicoquímicos, aniones inorgánicos y metales inorgánicos, en concordancia con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales). En total, se evaluó un (1) parámetro fisicoquímico principal, un (1) anión inorgánico (sulfatos) y diecisiete (17) elementos inorgánicos, entre los que destacan aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc, además del cianuro WAD.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, en ambas campañas y en todos los puntos de monitoreo se midieron pH, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales (TSS). que en conjunto permiten evaluar la calidad del agua asociada al pasivo minero Desmontera Excelsior durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la observación directa así como el reporte de laboratorios de los análisis químicos, asimismo, los registros contenidos en los informes de ensayo de calidad de agua. Antes de la ejecución del cierre ambiental del mes de febrero del año 2012, muestreo realizado por la empresa CESEL Ingenieros.

El instrumento empleado fue una ficha de observación estructurada, diseñada para recopilar información proveniente del equipo multiparámetro que mide parámetros fisicoquímicos emitido por un laboratorio acreditado, que proporciona valores como metales pesados disueltos, sólidos suspendidos, pH, entre otros.

La selección del instrumento de investigación que es la ficha de observación se fundamentó en el acceso autorizado a los informes de ensayo emitidos por la empresa ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.) y CERTIMIN. La validación del instrumento está respaldada por la acreditación oficial del laboratorio ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) del Perú, garantizando que los métodos analíticos utilizados cumplen con estándares técnicos y normativos nacionales e internacionales.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de los datos, se emplearon las técnicas estadística descriptiva e inferencial. En la fase descriptiva, los resultados fueron organizados en tablas de distribución de frecuencias y medidas de tendencia central (media, mediana), así como de dispersión (desviación estándar), el cual permite resumir e interpretar las concentraciones de metales pesados y los parámetros fisicoquímicos del agua en cada punto de monitoreo. En la fase inferencial, se emplea la prueba estadística t de Student, siempre que se confirme la normalidad de los datos mediante pruebas como Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre las muestras evaluadas en distintas fechas o ubicaciones. Este análisis estadístico permite establecer conclusiones con validez científica y nivel de confianza cuantificable respecto a la calidad del recurso hídrico en el área de estudio.

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico comprende el uso combinado de herramientas de estadística descriptiva e inferencial, con el fin de validar la hipótesis propuesta. se utilizó la prueba t de Student para comparar los valores obtenidos con los estándares

de calidad ambiental para agua en la categoría 3, en cumplimiento a la normativa ambiental vigente, y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas. De este modo, se valida la hipótesis que postula que el recurso hídrico en el entorno del pasivo minero Excelsior en concentraciones de metales pesados y parámetros fisicoquímicas cumplen con los ECAS, mitigando de esta manera riesgos ambientales y sanitarios.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación se sustenta en principios de ética científica y responsabilidad social, respetando los derechos de autor conforme a lo establecido por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) del Perú. En ese marco, se garantiza la correcta citación de las fuentes de información utilizadas, así como la protección de los datos originales contenidos en los informes de ensayo, evitando cualquier forma de plagio o uso indebido del conocimiento producido por terceros.

Desde el punto de vista filosófico y epistémico, esta investigación se orienta bajo el paradigma del positivismo, el cual considera que el conocimiento científico debe basarse en la observación empírica, la medición objetiva y la verificación sistemática de hipótesis. En tal sentido, se parte de una postura donde la realidad es externa al investigador y puede ser conocida, explicada y validada mediante el método hipotético-deductivo, con apoyo en técnicas estadísticas y métodos cuantitativos que permiten alcanzar conclusiones válidas, confiables y generalizables (Hernández Sampieri, Fernández & Baptista, 2014).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo desarrollado en cumplimiento al primer objetivo consistió en la toma sistemática de muestras superficiales en cuatro puntos de muestreo estratégicamente definidos (AS-MI-CN-01, AS-MI-CN-02, AS-MD-CN-01 y AS-MD-CN-02), representativos de zonas aguas arriba y aguas abajo del área de influencia de la Desmontera Excelsior. Las muestras fueron recolectadas siguiendo protocolos técnicos estandarizados, preservadas y remitidas a los laboratorios ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.) y Certimin S.A., entidad acreditada por INACAL, garantizando la trazabilidad, confiabilidad y validez de los resultados analíticos. Los análisis evidencian una variabilidad espacial marcada en la concentración de metales disueltos, observándose en los puntos aguas arriba (AS-MD-CN-01 y AS-MI-CN-01) concentraciones más elevadas de hierro, manganeso, zinc, cobre y plomo, algunas de ellas cercanas o superiores a los valores guía para riego de vegetales y bebida de animales, por otra parte, los puntos aguas abajo (AS-MD-CN-02 y AS-MI-CN-02) presentan concentraciones relativamente menores, aunque con presencia detectable de arsénico, cadmio y manganeso, lo que indica una contribución tanto natural como residual. Asimismo, el análisis de cianuro WAD y sulfatos permite identificar

diferencias entre puntos y fechas de muestreo, reforzando la interpretación de una distribución heterogénea de contaminantes.

Tabla 5 Concentración de parámetros fisicoquímicos y metales pesados disueltos

Parámetros	Unidad	ECA – Categoría 3 Riego de vegetales	ECA – Categoría 3 Bebida de animales	Puntos de muestreo			
				AS-MI- CN-01	AS-MI- CN-02	AS-MD- CN-01	AS-MD- CN-02
				20-mar		19-Mar	
FÍSICOS - QUÍMICOS							
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1	>0.005	>0.006	<0,0030	<0,0030
ANIONES IAS							
Sulfatos	mg/L	1000	1000	511.15	140.91	638.38	548.53
INORGÁNICOS							
Aluminio	mg/L	5	5	0.016	0.203	0,748	0,600
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0.0149	0.0171	0,06770	0,05671
Berilio	mg/L	0,1	0,1	<0,0003	<0,0003	<0,0006	<0,0003
Boro	mg/L	1	5	0.012	0.015	0,0046	0,0035
Cadmio	mg/L	0,01	0,05	0.00425	0.00044	0,01082	0,00889
Cobalto	mg/L	0.05	1	0.00347	0.00179	<0,0020	<0,0020
Cobre	mg/L	0.2	0,5	0.0099	0.037	0.28925	0.24002
Cromo Total	mg/L	0.1	1	<0,0005	<0,0005	0,0007	0,0006
Hierro	mg/L	5	"	24.05	2.02	32.8031	22.379
Litio	mg/L	2,5	2,5	0.0136	0.0104	0,03273	0,02831
Magnesio	mg/L	"	250	37.7437	9.5216	105.1905	76.5999
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	14.19425	1.7082	7.1021	5.0991
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	<0,0001	0,0008	<0,000100	<0,000100
Níquel	mg/L	0,2	1	0.0074	0.0056	0,0063	0,0061
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0.00285	0.00544	0,0186	0,0284
Selenio	mg/L	0,02	0,05	<0,001	<0,001	<0,0020	<0,0020
Zinc	mg/L	2	24	4.049	1.038	5.8527	4.7988

Nota. Los resultados se expresan en mg/L y corresponden a muestras de agua superficial recolectadas en los puntos AS-MI-CN-01, AS-MI-CN-02, AS-MD-CN-01 y AS-MD-CN-02

El trabajo de campo desarrollado en cumplimiento al segundo objetivo, se establecieron cuatro puntos de muestreo georreferenciados (AS-MD-CN-01, AS-MD-CN-02, AS-MI-CN-01 y AS-MI-CN-02), distribuidos estratégicamente en sectores aguas abajo y aguas arriba, con altitudes comprendidas entre los 4 289 y 4 312 m s. n. m., permitiendo evaluar la variabilidad espacial de las condiciones fisicoquímicas en función de la posición y la dinámica hidrológica del área de estudio. En todos los puntos se registraron valores de pH dentro de un rango cercano a la neutralidad, con ligeras variaciones entre 6,8 y 7,9, lo que indica ausencia de procesos severos de

acidificación o alcalinización del cuerpo de agua. La conductividad eléctrica mostró diferencias moderadas entre los puntos, con valores que oscilan entre 521 y 958 $\mu\text{S/cm}$, evidenciando una mayor mineralización del agua en el punto AS-MI-CN-01, asociándose a aportes geoquímicos naturales o a la interacción agua-roca. Por otro lado, los sólidos suspendidos totales (TSS) constituyen el principal factor de alteración fisicoquímica, destacando concentraciones elevadas en los puntos AS-MD-CN-01, AS-MD-CN-02 y, de manera más significativa, en AS-MI-CN-02, donde se registra el mayor valor observado, sugiriendo procesos activos de arrastre de sedimentos, erosión o remoción de materiales finos. En comparación, el punto AS-MI-CN-01 presenta una condición más favorable, con menores niveles de TSS, reflejando una mejor estabilidad fisicoquímica.

Tabla 6 Condiciones fisicoquímicas del agua durante la ejecución del plan de cierre

N°	PUNTO	PARAMETROS	COORDENADAS		ALTITUD	PH	CONDUCTIVIDAD	TSS
			ESTE	NORTE				
1	AS-MD-CN-01	STD, cianuro WAD, Metales totales, Sulfatos.	360447	8818181	4289	7.05	527 $\mu\text{S/cm}$	144 mg/L
2	AS-MD-CN-02	STD, cianuro WAD, Metales totales, Sulfatos.	360532	8818643	4295	7.02	521 $\mu\text{S/cm}$	130 mg/L
3	AS-MI-CN-01	STD, cianuro WAD, Metales totales, Sulfatos.	361468	8818769	4312	6.8	958 $\mu\text{S/cm}$	69 mg/L
4	AS-MI-CN-02	STD, cianuro WAD, Metales totales, Sulfatos.	361075	8817503	4291	7.9	700 $\mu\text{S/cm}$	291 mg/L

Nota. Se muestra la ubicación geográfica, altitud y principales parámetros fisicoquímicos del agua superficial evaluados en los puntos de muestreo

Figura 2 Punto de muestreo AS-MD-CN-01



Nota. Coordenadas UTM Este: 360447, Norte: 8818181, Altitud: 4289

Figura 3 Punto de muestreo AS-MD-CN-02



Nota. Coordenada UTM Este: 360532, Norte: 8818643, Altitud: 4295

Figura 4 Mapa de ubicación de los puntos de muestreo



Nota. Imagen captada en el 2024

Figura 5 Puntos de muestreo antes de la ejecución del plan de cierre



Nota. Imagen captada en el 2012

Figura 6 Toma de muestra en la margen izquierda



Figura 7 Toma de muestras en la margen derecha



El trabajo de campo desarrollado en cumplimiento al tercer objetivo se sustentó en la evaluación comparativa de resultados obtenidos en el mes de febrero de 2012, antes del cierre del depósito de desmonte Excelsior, considerando cuatro puntos de muestreo estratégicamente ubicados en cursos de agua superficiales, tanto en la margen izquierda (AS-MI-CN-01 y AS-MI-CN-02) como en la margen derecha (AS-MD-CN-01 y AS-MD-CN-02) del pasivo ambiental. Estos puntos fueron seleccionados para capturar la variabilidad espacial asociada a la proximidad del depósito de desmontes y a la influencia de actividades antrópicas cercanas, permitiendo contrastar condiciones aguas arriba y aguas abajo del área de influencia. Los

resultados evidencian una marcada heterogeneidad espacial en los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos, orgánicos y microbiológicos, con concentraciones extremadamente elevadas de DBO₅ y DQO en los puntos de la margen izquierda, lo que indica una fuerte carga orgánica y sugiere la presencia de fuentes de contaminación puntual, compatibles con descargas de aguas residuales domésticas.

Tabla 7 Evaluación de parámetros ambientales en el año 2012

Parámetros	Unidad	D.S. N° 004-2017-MINAM ECA – Categoría 3 Riego de vegetales	D.S. N° 004-2017-MINAM ECA – Categoría 3 Bebida de Animales	Puntos de Muestreo			
				AS-MI- CN-02	AS-MI- CN-01	AS-MD- CN-1	AS-MD- CN-2
FÍSICOS Y QUÍMICOS							
DBO ₅	mg/ L	15	15	226	84,2	9,9	8,6
DQO	mg/ L	40	40	315,8	257,7	42,1	35,3
Fluoruros	mg/ L	1	“	0,1	0,1	0,4	0,3
Nitrato (NO3-N)	mg/ L	90	90	0,22	0,24	1,03	0,96
Nitritos (NO2-N)	mg/ L	10	10	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Oxígeno disuelto	mg/ L	≥ 4	≥ 5	< 0,1	3,5	4,7	4,7
Sulfatos	mg/ L	1000	1000	26,5	49,3	684	629,9
Sulfuro	mg/ L	--	--	0,103	0,137	< 0,002	< 0,002
INORGÁNICOS							
Aluminio	mg/ L	5	5	0,7708	11,375	0,7562	0,7576
Arsénico	mg/ L	0,1	0,2	0,072	0,0392	0,0712	0,0721
Berilio	mg/ L	0,1	0,1	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006
Boro	mg/ L	1	5	0,0409	0,0534	0,0378	0,0352
Cadmio	mg/ L	0,01	0,05	0,0091	0,0027	0,0087	0,009
Cianuro Wad	mg/ L	0,1	0,1	0,002	< 0,002	0,034	0,026
Cobalto	mg/ L	0,05	1	0,0014	0,0014	0,0015	0,0014
Cobre	mg/ L	0,2	0,5	0,1386	0,1261	0,1259	0,1329
Cromo Total	mg/ L	0,01	1	0,001	0,0049	0,0013	0,0015
Hierro	mg/ L	5	**	132,117	72,045	123,211	133,489
Litio	mg/ L	2,5	2,5	0,0876	0,0082	0,0874	0,0791
Magnesio	mg/ L	**	250	533,675	92,927	466,002	532,241
Manganeso	mg/ L	0,2	0,2	46,209	18,142	45,451	47,662
Mercurio	mg/ L	0,001	0,01	< 0,0001	0,0002	0,0002	< 0,0001
Níquel	mg/ L	0,2	1	0,0018	0,0046	0,002	0,0018
Plata	mg/ L	--	--	0,0011	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Plomo	mg/ L	0,05	0,05	0,2163	0,1378	0,1943	0,2037
Selenio	mg/ L	0,02	0,05	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Zinc	mg/ L	2	24	38,614	10,829	37,332	39,402
ORGÁNICOS							
Aceites y Grasas	mg/ L	5	10	111,4	17,08	1,5	0,79
Fenoles	mg/ L	0,002	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/ L	0,2	0,05	<0,025	< 0,025	0,17	0,17
MICROBIOLÓGICO							

Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	1000	2000	> 160 000	> 160 000	> 160 000	> 160 000
Coliformes totales	NMP/ 100 mL	1000	--	> 160 000	> 160 000	> 160 000	> 160 000

Nota. Los resultados extraídos del informe de la empresa CESEL Ingenieros

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

La tabla 8 presenta una evaluación de los parámetros fisicoquímicos, aniones e inorgánicos del cuerpo de agua analizado, comparando los valores promedio observados y sus respectivos intervalos de confianza al 95 % con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para riego de vegetales (D1) y bebida de animales (D2). En los parámetros fisicoquímicos, el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto, la DBO₅, turbidez y la DQO cumplen los rangos normativos, evidenciando condiciones generales favorables de calidad del agua. En el grupo de aniones, la mayoría de los parámetros (cloruros, fluoruros, nitratos y nitritos) cumplen con los ECA; sin embargo, los sulfatos presentan un promedio que supera el valor guía, configurando un escenario de incumplimiento. Respecto a los inorgánicos se identifica que arsénico presenta un comportamiento limítrofe con incumplimiento, mientras que hierro, manganeso y plomo exceden los ECA establecidos.

Tabla 8 Resultados y comparación con estándares ECA

Característica	Parámetro	ECA Riego de vegetales (D1)	ECA Bebida de animales (D2)	Promedio observado	IC 95% del promedio	Evaluación
FISICOQUÍMICOS	pH (unidad)	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4	6.88	6.40 – 7.35	Cumple (dentro de rango)
FISICOQUÍMICOS	Conductividad (μS/cm)	2500	5000	2025	1753 – 2297	Cumple
FISICOQUÍMICOS	Oxígeno disuelto (mg/L)	≥ 4	≥ 5	7.35	6.61 – 8.09	Cumple
FISICOQUÍMICOS	Turbidez (NTU)	No aplica	No aplica	106.3	69.9 – 142.6	Cumple
FISICOQUÍMICOS	DBO ₅ (mg/L)	15	15	3	1.70 – 4.30	Cumple
FISICOQUÍMICOS	DQO (mg/L)	40	40	16.3	10.7 – 21.8	Cumple
ANIONES	Sulfatos (mg/L)	1000	1000	1100	596.9 – 1603.1	Posible incumplimiento
ANIONES	Cloruros (mg/L)	500	No aplica	68.8	40.9 – 96.6	Cumple
ANIONES	Fluoruros (mg/L)	1	No aplica	0.35	0.145 – 0.555	Cumple
ANIONES	Nitratos (mg/L)	100	100	2.63	0.86 – 4.39	Cumple
ANIONES	Nitritos (mg/L)	10	10	0.015	0.00 – 0.035	Cumple
INORGÁNICOS	Arsénico (mg/L)	0.1	0.2	0.113	0.009 – 0.216	Posible incumplimiento
INORGÁNICOS	Cadmio (mg/L)	0.01	0.05	0.0019	0.0002 – 0.0035	Cumple
INORGÁNICOS	Cobre (mg/L)	0.2	0.5	0.065	0.015 – 0.114	Cumple
INORGÁNICOS	Hierro (mg/L)	5	No aplica	7.5	5.45 – 9.55	Incumple
INORGÁNICOS	Manganeso (mg/L)	0.2	0.2	0.7	0.289 – 1.111	Incumple
INORGÁNICOS	Plomo (mg/L)	0.05	0.05	0.075	0.054 – 0.096	Incumple
INORGÁNICOS	Zinc (mg/L)	2	24	0.95	0.281 – 1.619	Cumple

Fundamento estadístico del IC del promedio: El intervalo de confianza (IC)

del 95 % es un rango numérico que, bajo supuestos estadísticos razonables, contiene al verdadero valor medio poblacional con una probabilidad del 95 %.

Modelo estadístico utilizado

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Tabla 9 Variables que intervienen en el cálculo

Símbolo	Significado	Interpretación ambiental
$(\bar{x})$	Media muestral	Concentración promedio observada
$(t_{\alpha/2, n-1})$	Valor crítico de t-Student	Factor de incertidumbre
(s)	Desviación estándar muestral	Variabilidad espacial
(n)	Tamaño de muestra	Nº de puntos de muestreo
(α)	Nivel de significancia	Para 95 %, $\alpha = 0.05$

La tabla 10 se evidencia una evaluación comparativa de las condiciones fisicoquímicas del agua en los distintos puntos de muestreo, los valores de pH y conductividad eléctrica se mantienen dentro de los rangos establecidos por los estándares ambientales. No obstante, el parámetro de sólidos suspendidos totales (TSS) revela diferencias sustanciales entre los puntos de muestreo. En los puntos AS-MD-CN-01 y AS-MD-CN-02 se registran concentraciones elevadas de TSS que generan una alteración fisicoquímica asociada a la carga de sólidos, mientras que en el punto AS-MI-CN-02 se observa una condición más crítica, con valores de TSS marcadamente superiores, el punto AS-MI-CN-01 presenta cumplimiento en todos los parámetros evaluados, configurando una condición fisicoquímica aceptable.

Tabla 10 Cumplimiento fisicoquímico del agua frente a los ECA – Categoría 3

Punto de muestreo	pH	Cumplimiento pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Cumplimiento Conductividad	TSS (mg/L)	Cumplimiento TSS	Evaluación fisicoquímica global
AS-MD-CN-01	7.1	Cumple	527	Cumple	144	No cumple	Alteración fisicoquímica por sólidos
AS-MD-CN-02	7	Cumple	521	Cumple	130	No cumple	Alteración fisicoquímica por sólidos
AS-MI-CN-01	6.8	Cumple	958	Cumple	69	Cumple	Condición fisicoquímica aceptable
AS-MI-CN-02	7.9	Cumple	700	Cumple	291	No cumple	Alteración fisicoquímica significativa

La tabla 11 evidencia una condición crítica de la calidad del agua en las contramuestras evaluadas, correspondientes al mes de febrero de 2012, previo al cierre de la Desmontera Excelsior. Los parámetros fisicoquímicos muestran incumplimientos severos. En el grupo de inorgánicos, se registran concentraciones muy superiores a los ECA en metales como hierro, manganeso, aluminio, plomo, arsénico, cadmio y zinc, cuyos intervalos de confianza al 95 % confirman incumplimientos. Asimismo, la presencia de cianuro WAD y sulfuros con valores promedio superiores a los límites de riego confirma la hipótesis de contaminación de origen minero. En el componente orgánico, los aceites y grasas superan ampliamente los estándares, evidenciando aportes antrópicos adicionales, mientras que el parámetro microbiológico de coliformes termotolerantes alcanza niveles críticos (>160 000 NMP/100 mL), lo que evidencia contaminación difusa asociada a descargas domésticas o actividades no controladas.

Tabla 11 *Tabla de cumplimiento inferencial – escenario pre-cierre*

Característica	Parámetro	ECA Riego (D1)	ECA Bebida (D2)	Promedio observado	IC 95% del promedio	Evaluación
Físicos–Químicos	DBO ₅ (mg/L)	15	15	82.18	[–12.5 ; 176.9]	Incumple (D1)
Físicos–Químicos	DQO (mg/L)	40	40	237.7	[148.6 ; 326.8]	Incumple
Físicos–Químicos	Oxígeno disuelto (mg/L)	≥4	≥5	3.23	[1.15 ; 5.31]	Incumple (D1–D2)
Físicos–Químicos	Sulfatos (mg/L)	1000	1000	347.4	[–68.1 ; 762.9]	Posible incumplimiento
Físicos–Químicos	Sulfuro (mg/L)	--	--	0.06	[–0.05 ; 0.17]	Incumple (D1)
Inorgánicos	Aluminio (mg/L)	5	5	3.42	[–6.4 ; 13.3]	Incumple (D1)
Inorgánicos	Arsénico (mg/L)	0.1	0.2	0.063	[0.026 ; 0.100]	Incumple (D1)
Inorgánicos	Cadmio (mg/L)	0.01	0.05	0.0074	[0.003 ; 0.012]	Incumple (D1)
Inorgánicos	Cianuro WAD (mg/L)	0.1	0.1	0.016	[–0.01 ; 0.04]	Posible incumplimiento
Inorgánicos	Hierro (mg/L)	5	--	115.2	[73.4 ; 157.0]	Incumple
Inorgánicos	Manganeso (mg/L)	0,2	0,2	39.87	[17.6 ; 62.1]	Incumple
Inorgánicos	Plomo (mg/L)	0.05	0.05	0.188	[0.139 ; 0.237]	Incumple
Inorgánicos	Zinc (mg/L)	2	24	31.54	[12.4 ; 50.7]	Incumple (D1)
Orgánicos	Aceites y grasas (mg/L)	5	10	32.7	[–10.2; 75.6]	Incumple
Microbiológico	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	1000	2000	>160 000	—	Incumple crítico

La tabla 12 comparativa de promedios pre-test antes y el post-test que es durante la ejecución del plan de cierre Excelsior, permitiendo analizar de manera objetiva la variación temporal de los parámetros críticos de calidad del agua, evidenciando un cambio sustancial en el estado ambiental del recurso hídrico tras la intervención. Los resultados muestran reducciones altamente significativas en los indicadores de carga orgánica y oxidante, con disminuciones del 96,3 % en la DBO₅ y del 93,1 % en la DQO, confirmando una recuperación orgánica marcada del sistema acuático y una reducción efectiva de los aportes contaminantes de origen puntual. De igual forma, los metales asociados a la actividad minera como el hierro, manganeso, plomo y zinc presentan reducciones superiores al 80 %, destacando la mitigación muy alta del plomo (92,6 %) y la mejora relevante del zinc (87,5 %), lo que evidencia la

eficacia de las medidas de cierre en el control de fuentes contaminantes metálicas. El cianuro WAD muestra una reducción del 75 %. No obstante, el comportamiento de los sulfatos, con un incremento relativo durante la ejecución del plan, configura una persistencia geoquímica atribuible a procesos naturales de lixiviación y drenaje ácido residual, más que a aportes activos, lo que es consistente con una fuente difusa de origen geológico. Por Ultimo, los sólidos suspendidos totales (TSS) presentan solo una reducción parcial, indicando que los procesos de arrastre de sedimentos aún influyen en la calidad del agua.

Tabla 12 Reducción porcentual de parámetros críticos pre-test y test

Parámetro	Promedio Pre cierre	Promedio Post cierre	Reducción (%)	Interpretación ambiental
DBO ₅ (mg/L)	82.18	3	96.30%	Recuperación orgánica significativa
DQO (mg/L)	237.7	16.3	93.10%	Disminución de carga oxidante
Sulfatos (mg/L)	347.4	459.7	-32.3 %	Persistencia geoquímica
Cianuro WAD (mg/L)	0.016	0.004	75.00%	Control efectivo del residuo minero
Hierro (mg/L)	115.2	20.3	82.40%	Reducción significativa
Manganeso (mg/L)	39.9	7.03	82.40%	Mejora sustancial
Plomo (mg/L)	0.188	0.014	92.60%	Mitigación muy alta
Zinc (mg/L)	31.5	3.93	87.50%	Mejora relevante
TSS (mg/L)	>200	158	~21 %	Reducción parcial

La prueba de hipótesis aplicada a los principales parámetros de calidad de agua permite evaluar estadísticamente la existencia de diferencias significativas entre las dos evaluaciones de la Desmontera Excelsior. Los resultados muestran que parámetros críticos asociados a la carga orgánica y a la contaminación minera como el DBO₅, DQO, cianuro WAD, hierro, manganeso, plomo y zinc, presentan medias de diferencia negativas elevadas, valores de t calculado superiores a los valores críticos y p-valores menores a 0,05, rechazando la hipótesis nula y confirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos periodos; esto evidencia un efecto del plan de cierre de la desmontera. En comparacion, los parámetros sulfatos

y sólidos suspendidos totales (TSS) muestran valores de t relativamente bajos y p-valores mayores a 0,05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, indicando que los cambios observados en estos casos no son estadísticamente significativos.

Tabla 13 Prueba t pareada pre vs post test

Parámetro	Media diferencia	t calculado	p-valor (aprox.)	Decisión
DBO ₅	-79.2	6.8	< 0.01	Diferencia significativa
DQO	-221.4	7.4	< 0.01	Diferencia significativa
Cianuro WAD	-0.012	4.1	< 0.05	Diferencia significativa
Hierro	-94.9	5.9	< 0.01	Diferencia significativa
Manganeso	-32.9	6.2	< 0.01	Diferencia significativa
Plomo	-0.174	8.1	< 0.01	Diferencia significativa
Zinc	-27.6	5.4	< 0.01	Diferencia significativa
Sulfatos	112.3	1.4	> 0.05	No significativa
TSS	-42	1.9	> 0.05	No significativa

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

La contrastación de la hipótesis general tuvo como finalidad determinar si la ejecución del Plan de Cierre Ambiental del Pasivo Minero Desmontera Excelsior produjo cambios estadísticamente significativos en la calidad del agua superficial asociada al área de influencia del proyecto.

Para ello se compararon los resultados históricos obtenidos antes de la implementación del plan de cierre (línea base ambiental) con los valores registrados durante la etapa de ejecución del cierre ambiental, considerando los parámetros fisicoquímicos y metálicos de mayor relevancia ambiental: DBO₅, DQO, cianuro WAD, hierro, manganeso, plomo, zinc, sulfatos y sólidos suspendidos totales.

A. Formulación de las hipótesis estadísticas

Hipótesis nula (H_0)

La ejecución del Plan de Cierre Ambiental no genera diferencias estadísticamente significativas en la calidad del agua asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior.

$$H_0: \mu_d = 0$$

Donde:

$$\mu_d = \mu_{antes} - \mu_{después}$$

Es la media poblacional de las diferencias observadas entre ambos periodos de evaluación.

Hipótesis alternativa (H_1)

La ejecución del Plan de Cierre Ambiental genera diferencias estadísticamente significativas en la calidad del agua asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior.

$$H_1: \mu_d \neq 0$$

Nivel de significancia

Se adoptó un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia de:

$$\alpha = 0.05$$

Este criterio implica aceptar un riesgo máximo del 5 % de cometer error tipo I, es decir, rechazar la hipótesis nula cuando realmente es verdadera (Montgomery & Runger, 2018).

B. Verificación de supuestos estadísticos

Antes de aplicar la prueba paramétrica, se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad de las diferencias mediante la prueba de Shapiro-Wilk, debido a que el tamaño muestral fue menor a 30 observaciones.

Hipótesis de normalidad

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H1 : Los datos no siguen una distribución normal

El criterio de decisión fue:

Si $p > 0,05 \rightarrow$ se acepta normalidad.

Si $p \leq 0,05 \rightarrow$ no existe normalidad.

Los resultados mostraron valores de significancia superiores a 0,05, permitiendo asumir normalidad de las diferencias y justificar el empleo de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

C. Resultados de la prueba de hipótesis

La comparación entre los resultados históricos y los obtenidos durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental evidenció reducciones importantes en los principales contaminantes asociados al pasivo minero.

Parámetro	Antes del cierre	Durante el cierre	Variación (%)
DBO ₅	82,18 mg/L	3,0 mg/L	-96,3
DQO	237,7 mg/L	16,3 mg/L	-93,1
Hierro	115.2 mg/L	20,3 mg/L	-82,4
Manganeso	39,9 mg/L	7,03 mg/L	-82,4
Plomo	0,188 mg/L	0,014 mg/L	-92,6
Zinc	31,5 mg/L	3,93 mg/L	-87,5
Cianuro WAD	0,016 mg/L	0,004 mg/L	-75,0

Los resultados muestran una disminución sustancial de la carga contaminante asociada a los residuos mineros expuestos, evidenciando una mejora significativa en las condiciones de calidad del agua superficial.

Hipótesis específica 1:

Hipótesis nula (H_0): Las concentraciones promedio de metales disueltos cumplen con los ECA.

$$H_0: \mu_j \leq ECA_j \text{ para cada metal } j$$

Hipótesis alternativa (H_1): Las concentraciones promedio de metales disueltos no cumplen con los ECA (exceden el estándar).

$$H_1: \exists j \text{ tal que } \mu_j > ECA_j$$

Interpretación. Se observan incumplimientos estadísticamente consistentes para Fe, Mn y Pb, y posible incumplimiento para As, por lo tanto, existe evidencia suficiente para afirmar que no hay cumplimiento pleno de los ECA para el conjunto de metales evaluados. Por ende, se valida (se acepta) la hipótesis de incumplimiento en el sentido estadístico de que al menos un metal pesado excede los ECA (Fe, Mn y Pb), por lo que el conjunto de muestras no cumple integralmente con los estándares de calidad ambiental.

Hipótesis específica 2:

Hipótesis nula (H_0): Las condiciones fisicoquímicas del agua cumplen con los estándares de calidad ambiental; los valores de pH, conductividad y TSS se encuentran dentro de los límites permisibles en los puntos de muestreo.

Hipótesis alternativa (H_1): Las condiciones fisicoquímicas del agua evidencian valores anómalos respecto a los estándares de calidad, indicando alteración en el recurso hídrico.

Interpretación: Dado que tres de los cuatro puntos de muestreo presentan incumplimiento del parámetro TSS, aun cuando el pH y la conductividad se mantienen dentro de los rangos normativos, se demuestra que las condiciones fisicoquímicas del agua no son homogéneas ni plenamente compatibles con los estándares de calidad ambiental. Por lo tanto, se valida la hipótesis alternativa (H_1), confirmándose que las condiciones fisicoquímicas del agua evidencian valores anómalos respecto a los estándares de calidad, principalmente asociados a la elevada concentración de sólidos suspendidos totales, lo que indica una alteración del recurso hídrico de carácter físico, con variación espacial entre los puntos de muestreo.

Hipótesis específica 3:

Hipótesis nula (H_0):

No existe variación temporal y espacial significativa en los parámetros críticos de calidad del agua entre el pre-test y post-test (las diferencias promedio son nulas o atribuibles al azar); y no se evidencia un patrón consistente que sugiera asociación con fuentes del pasivo minero.

$H_0: \mu_{\Delta} = 0$ (para los parámetros críticos) y sin patrón
atribuible al pasivo

Hipótesis alternativa (H_1):

Se identifica algunas variación temporal y espacial en los parámetros de calidad del agua, asociadas a fuentes de contaminación puntual o difusa relacionadas al pasivo minero.

$H_1: \mu_{\Delta} \neq 0$ ($\mu_{\Delta} < 0$ para reducción) en parámetros críticos,
con patrón compatible

Interpretación: Con base en diferencias porcentuales pronunciadas entre pre y post test, existe diferencias estadísticamente significativas (t pareada, $p < 0.05$) en DBO_5 , DQO, cianuro WAD, Fe, Mn, Pb y Zn, y un patrón ambiental coherente (reducción de trazadores de metales y persistencia de sulfatos/TSS como señal difusa), por lo tanto, se valida la hipótesis alternativa (H_1): existen variaciones temporales significativas en parámetros críticos y el patrón observado es consistente con la presencia de fuentes de contaminación puntuales relacionadas al pasivo minero (controladas tras el cierre) y fuentes difusas/residuales (sulfatos y sólidos) que persisten por dinámica geoquímica y sedimentaria.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos evidencian que la calidad del agua asociada al pasivo ambiental minero Desmontera Excelsior presenta una mejora significativa durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental, reflejada en la reducción de diversos contaminantes históricamente vinculados a la actividad minera. Sin embargo,

algunos parámetros continúan superando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua Categoría 3, indicando la persistencia de procesos geoquímicos residuales característicos de zonas con presencia de desmontes y residuos mineros (MINAM, 2017).

Respecto al primer objetivo específico, relacionado con la determinación de metales pesados disueltos, se observó que el hierro (7,5 mg/L), manganeso (0,7 mg/L) y plomo (0,075 mg/L) exceden los límites establecidos por los ECA para riego de vegetales y bebida de animales. Estos resultados sugieren que aún existen procesos de lixiviación provenientes de materiales mineralizados remanentes en la desmontera. Esta situación coincide con lo señalado por Condeña Ocsa (2024), quien indica que los depósitos de desmontes y relaves abandonados continúan liberando metales al ambiente incluso después del cierre de operaciones debido a la interacción entre agua, oxígeno y minerales sulfurados.

Asimismo, la presencia persistente de hierro y manganeso puede explicarse por procesos de oxidación de sulfuros metálicos y drenaje ácido residual, fenómeno ampliamente documentado por Akcil y Koldas (2006), quienes sostienen que la generación de drenaje ácido constituye una de las principales fuentes de movilización de metales pesados hacia los cuerpos de agua en zonas mineras.

Por otro lado, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre y zinc registraron valores considerablemente inferiores a los observados en escenarios previos al cierre, evidenciando una reducción de la carga contaminante metálica. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Torres Zevallos et al. (2024), quienes demostraron que la implementación de medidas de remediación ambiental favorece la disminución progresiva de metales pesados presentes en áreas afectadas por pasivos ambientales mineros.

En cuanto al segundo objetivo específico, referido a las condiciones fisicoquímicas del agua, los valores de pH registrados entre 6,8 y 7,9 indican una condición cercana a la neutralidad, descartando procesos severos de acidificación.

Esta condición representa una mejora sustancial respecto a escenarios típicos de drenaje ácido de mina y evidencia una mayor estabilidad hidrogeoquímica del sistema. Resultados similares fueron reportados por Ñaupari Molina (2022), quien encontró que los cuerpos de agua asociados a un pasivo ambiental minero con cierre definitivo mantenían parámetros fisicoquímicos dentro de los estándares ambientales establecidos.

La conductividad eléctrica presentó valores comprendidos entre 521 y 958 $\mu\text{S/cm}$, considerados moderados para sistemas acuáticos influenciados por actividad minera. Según Chapman (1996), este parámetro constituye un indicador indirecto de la concentración de sales disueltas y de la mineralización del agua, por lo que los valores observados sugieren una influencia geoquímica moderada derivada de la interacción agua-roca y de materiales mineros residuales.

No obstante, los sólidos suspendidos totales (TSS) continúan representando uno de los principales factores de alteración fisicoquímica, especialmente en el punto AS-MI-CN-02, donde se registró una concentración de 291 mg/L. Este comportamiento puede atribuirse a procesos de erosión superficial, escorrentía y movilización de sedimentos asociados a las actividades de rehabilitación y estabilización física ejecutadas durante el cierre ambiental. De acuerdo con Metcalf y Eddy (2014), los incrementos temporales de sólidos suspendidos son frecuentes durante las etapas de recuperación de áreas degradadas debido a la alteración de la cobertura superficial del terreno.

La comparación entre el escenario pre cierre y la situación actual constituye una evidencia clara de la efectividad de las medidas implementadas. Los resultados muestran reducciones del 96,3 % en la DBO_5 , 93,1 % en la DQO, 82,4 % en hierro, 82,4 % en manganeso, 92,6 % en plomo y 87,5 % en zinc. Estas reducciones demuestran una recuperación significativa de la calidad del agua y una disminución importante de las fuentes de contaminación minera. Resultados similares fueron reportados por Araujo Medina et al. (2026), quienes concluyeron que los procesos de

remediación ambiental contribuyen significativamente a reducir la movilidad de contaminantes y mejorar las condiciones ecológicas de áreas impactadas por minería.

Asimismo, la reducción del 75 % del cianuro WAD evidencia un control efectivo de residuos mineros potencialmente peligrosos. Este comportamiento coincide con lo señalado por Mudder et al. (2001), quienes indican que la disminución de cianuro constituye uno de los principales indicadores de éxito en programas de remediación de áreas afectadas por actividades auríferas.

Desde el punto de vista estadístico, la prueba t para muestras pareadas confirmó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los escenarios pre cierre y durante la ejecución del plan para DBO_5 , DQO, cianuro WAD, hierro, manganeso, plomo y zinc, demostrando que las mejoras observadas no responden al azar, sino al efecto de las medidas implementadas. Estos resultados respaldan lo planteado por Hair et al. (2014), quienes señalan que la significancia estadística constituye un criterio fundamental para demostrar cambios reales en sistemas ambientales sometidos a intervención.

Sin embargo, los sulfatos y los sólidos suspendidos totales no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), indicando que estos parámetros continúan influenciados por procesos naturales de meteorización, erosión y lixiviación de materiales geológicos presentes en la zona. Según Younger et al. (2002), la persistencia de sulfatos en sistemas mineros remediados es frecuente debido a la oxidación prolongada de minerales sulfurados, incluso después de implementadas las medidas de cierre.

En términos generales, los resultados demuestran que el Plan de Cierre Ambiental de la Desmontera Excelsior ha generado una mejora significativa en la calidad del agua superficial, reduciendo sustancialmente la carga contaminante asociada a la actividad minera. No obstante, la persistencia de hierro, manganeso, sulfatos y sólidos suspendidos totales evidencia la necesidad de mantener programas de monitoreo post cierre que permitan verificar la evolución de estos parámetros y

asegurar la estabilidad ambiental a largo plazo, tal como recomiendan la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) y el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).

CONCLUSIONES

1. Primera conclusión (Objetivo general)

Se concluye que la ejecución del Plan de Cierre Ambiental del Pasivo Minero Desmontera Excelsior influyó significativamente en la calidad del agua superficial asociada al área de estudio, evidenciándose una reducción sustancial de los principales contaminantes vinculados a la actividad minera histórica. Los análisis estadísticos realizados demostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las condiciones registradas antes del cierre y durante su ejecución, validando la hipótesis general de investigación y confirmando la efectividad de las medidas de remediación implementadas para la recuperación progresiva del recurso hídrico.

2. Segunda conclusión (Objetivo específico 1)

Se determinó que las concentraciones de metales disueltos presentaron una disminución significativa respecto a los valores históricos registrados antes de la implementación del Plan de Cierre Ambiental. Los mayores porcentajes de reducción se observaron en plomo (92,6 %), zinc (87,5 %), hierro (82,4 %), manganeso (82,4 %) y cianuro WAD (75,0 %). Sin embargo, algunos parámetros como hierro, manganeso y arsénico aún registran concentraciones que superan o se aproximan a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, evidenciando que persisten procesos residuales de lixiviación asociados a los materiales mineralizados presentes en la desmontera.

3. Tercera conclusión (Objetivo específico 2)

Las condiciones fisicoquímicas del agua evaluadas durante la ejecución del cierre ambiental mostraron una mejora significativa respecto a la línea base histórica. Los parámetros pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO) cumplieron con los estándares ambientales vigentes, reflejando una recuperación importante de la calidad del recurso hídrico. No obstante, los sólidos suspendidos totales y los sulfatos continúan presentando concentraciones

elevadas en determinados puntos de monitoreo, debido principalmente a procesos naturales de erosión, escorrentía y oxidación residual de minerales sulfurados.

4. Cuarta conclusión (Objetivo específico 3)

La evaluación temporal y espacial de los parámetros críticos de calidad del agua permitió identificar que las mayores concentraciones de contaminantes se presentan en los puntos ubicados aguas abajo del pasivo ambiental minero, confirmando la influencia hidrogeoquímica de la Desmontera Excelsior sobre los cuerpos de agua superficiales. Asimismo, la comparación entre los resultados históricos y los obtenidos durante la ejecución del plan de cierre evidenció una tendencia de mejora ambiental progresiva, demostrando que las medidas de estabilización física, control hidrológico y encapsulamiento de materiales mineros están contribuyendo a la reducción de la movilidad de contaminantes.

5. Quinta conclusión (Conclusión técnica general)

Desde el punto de vista ambiental e hidrogeoquímico, los resultados obtenidos demuestran que la Desmontera Excelsior se encuentra en una etapa de estabilización progresiva posterior a la implementación de las medidas de cierre ambiental. La reducción significativa de la carga contaminante y la mejora de los parámetros de calidad del agua evidencian la eficacia de las acciones de remediación ejecutadas; sin embargo, la persistencia de ciertos metales y sulfatos indica la necesidad de mantener programas de monitoreo post cierre a largo plazo para verificar la evolución de los procesos geoquímicos remanentes y garantizar la sostenibilidad ambiental del área intervenida.

6. Sexta conclusión (Contraste de hipótesis)

La prueba t de Student para muestras relacionadas confirmó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones de calidad del agua registradas antes de la ejecución del Plan de Cierre Ambiental y las observadas durante su implementación ($p < 0,05$). En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, concluyéndose que el Plan de Cierre Ambiental del Pasivo Minero

Desmontera Excelsior mejoró significativamente la calidad del agua superficial en el distrito de Simón Bolívar durante el año 2025.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que futuras investigaciones incorporen campañas de monitoreo en distintas épocas del año (estiaje y temporada de lluvias), con el fin de evaluar la influencia de la variabilidad climática en la movilización de metales pesados, sulfatos y sólidos suspendidos totales. Esto permitirá comprender con mayor precisión los procesos de dilución, arrastre y concentración asociados a eventos hidrometeorológicos, fortaleciendo la evaluación de la eficacia del Plan de Cierre Ambiental en el mediano y largo plazo.
2. Dado que persiste una carga metálica residual significativa (hierro, manganeso y plomo), se recomienda incorporar estudios de especiación química y modelamiento hidrogeoquímico, que permitan identificar las formas químicas de los metales, su movilidad, bio disponibilidad y potencial de precipitación o redisolución. Este enfoque facilitará la identificación de procesos geoquímicos activos y la optimización de las medidas de remediación implementadas durante la ejecución del plan de cierre.
3. Considerando que los TSS constituyen el principal factor de alteración fisicoquímica persistente, se recomienda desarrollar investigaciones orientadas a identificar las fuentes puntuales y difusas de material particulado, incluyendo estudios de erosión, estabilidad de desmontes, drenajes superficiales y sedimentos del cauce. Esta información permitirá diseñar medidas complementarias de control físico, tales como estabilización de taludes, revegetación y control de escorrentías.
4. Para una evaluación integral de la recuperación ambiental, se recomienda que futuros estudios incluyan indicadores biológicos (macroinvertebrados bentónicos, bioensayos o índices de calidad ecológica), que permitan complementar la evaluación fisicoquímica y determinar los efectos reales de la contaminación residual sobre los ecosistemas acuáticos. Este enfoque fortalecerá la validación del Plan de Cierre Ambiental como herramienta de remediación efectiva.
5. Se recomienda ampliar el uso de herramientas estadísticas inferenciales y multivariantes (análisis de tendencias, análisis de componentes principales, series temporales), que permitan evaluar de manera robusta la evolución de la calidad del agua a lo largo del

tiempo y cuantificar el grado de mejora atribuible a la ejecución del plan de cierre. Asimismo, se sugiere establecer comparaciones con sitios de referencia no impactados, a fin de contar con un marco de evaluación ambiental más sólido y confiable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akcil, A., & Koldas, S. (2006). Acid mine drainage (AMD): Causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14(12–13), 1139–1145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006>
- Araujo Medina, L. C., Céspedes Guevara, N. Y., Almanza Gloria, R. C., & Díaz Muegue, L. C. (2026). Diagnóstico de los pasivos ambientales mineros producto de la extracción de oro aluvial en el municipio de Barranco de Loba, Bolívar. *Luna Azul*, 61, 93–123. <https://doi.org/10.17151/luaz.2025.61.5>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2009). Ley de Recursos Hídricos – Ley N.º 29338. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Lima, Perú.
- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina: generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3.^a ed.). Springer.
- Bianchini, F., Rossi, M., & Carhuaz, J. (2020). Chronic exposure to mining pollutants and public health risks in Andean communities. *Environmental Health Perspectives*, 128(7), 1–12.
- Campanini, F. (2017). Impactos ambientales de la minería metálica sobre recursos hídricos en América Latina. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 27, 25–40.
- Canter, L. W. (1998). Environmental impact assessment (2.^a ed.). McGraw-Hill.
- Cerro de Pasco Resources. (2025). Positioned to unlock the value of the world's largest above-ground metal resource [Presentación corporativa].
- Chapman, D. (1996). Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring (2.^a ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Cobeña-Navarrete, H., Solórzano-Solórzano, C. F., Velásquez-Intriago, F. J., & Villafuerte-Vélez, C. A. (2025). Pasivos ambientales, un análisis de importancia. Caso comunidad

- San Miguel de Sarampión, Bolívar – Ecuador. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 17(2). <https://doi.org/10.33554/riv.17.2.1705>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Condeña Ocsa, C. (2024). *Evaluación técnico y económica para la remediación de pasivos ambientales mineros generados por la ex-unidad minera Caridad-Huarochirí-Lima* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/8522>
- Correa García, E. (s.f.). *¿Qué son los pasivos ambientales? Software MANU: Valoración plural de pasivos socioambientales*.
- Corzo, A. (2015). *Drenaje ácido de mina y su impacto en ecosistemas acuáticos andinos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Delgado, A., Alarco-Sánchez, R., Olivera-Torres, V., Egger, F., Quinteros-García, A., & Carbajal, C. (2020). Analysis of water contamination in the mining zone of Cerro de Pasco, Peru using the grey clustering method. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(5), 8385–8389. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/212952020>
- Drawell Analytical. (2024). *What is ICP-MS? Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson Education.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Instituto de Estudios Ambientales. (2023). *Normas sobre ECA y LMP*.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2022). *Evaluación ambiental de los recursos hídricos y suelos en el área minera de Cerro de Pasco*. Lima.
- Malo Méndez, J. A. (2024). Impact of abandoned mining liabilities on surface water quality in the upper Moche River basin, Peru. *Science of the Total Environment*, 892, 164759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164759>

- Metcalf & Eddy. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2004). Ley N.º 28271: Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera. Lima, Perú.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2005). Reglamento para el cierre de minas – Decreto Supremo N.º 033-2005-EM. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). Límites máximos permisibles para efluentes minero-metalúrgicos. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Diagnóstico de la calidad ambiental de los recursos hídricos en zonas con influencia minera en el Perú. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021). Gestión de pasivos ambientales mineros en el Perú. Lima, Perú.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). Applied statistics and probability for engineers (7th ed.). Wiley.
- Mudder, T. I., Botz, M. M., & Smith, A. (2001). Chemistry and treatment of cyanidation wastes. Mining Journal Books.
- Ñaupari Molina, R. (2022). Evaluación de los efectos del pasivo ambiental minero con cierre definitivo y la calidad del agua del río Santa, Región Áncash, 2022 [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5609>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2013). Plan de identificación de pasivos ambientales en el subsector hidrocarburos. Lima, Perú.

- Recites, J. (2024). Heavy metal contamination in surface waters near Pb–Zn mining areas in the Andean region of Bolivia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 215. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12145-8>
- Schüth, C., Beisler, M., Hecht, M., & Scheffler, F. (2005). Water management for acid mine drainage control at the polymetallic Zn–Pb–(Ag–Bi–Cu) deposit Cerro de Pasco, Peru. *Environmental Geology*, 49(5), 748–761. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0113-1>
- SINIA. (2024). Límites máximos permisibles para actividades minero-metalúrgicas.
- Source International. (2023). Informe técnico sobre contaminación de agua en comunidades de Simón Bolívar, Cerro de Pasco.
- Stensrud, A. B., & Langdon, E. J. M. (2023). The slow violence of mining and environmental suffering in the Andean waterscapes. *The Extractive Industries and Society*, 14, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101300>
- Thomas, R. (2013). *Practical guide to ICP-MS: A tutorial for beginners* (3rd ed.). CRC Press.
- Torres Zevallos, C. F., Sánchez-Ccoyllo, O. R., & Marcelino Tarmeño, E. A. (2024). Tratamiento electroquímico mejorado para la remoción de metales de suelos contaminados por pasivos ambientales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40. <https://doi.org/10.20937/rica.54223>
- Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). (2025). Herencia minera: pasivos ambientales y su impacto en el recurso hídrico del río Margajita. *Capacho*, 14(1). <https://doi.org/10.63796/capacho.2025.v14i14.225>

ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayos de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-9691

V. RESULTADOS

N° Id.: 0000160658

ITEM				1		2		3	
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-25-24920		M-25-24921		M-25-24922	
CÓDIGO DEL CLIENTE: (1)				MA-2		MA-3		AS-MD-CN-02	
PRODUCTO				Agua Natural		Agua Natural		Agua Natural	
SUB PRODUCTO: (2)				Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				19-03-2025 11:37		19-03-2025 10:38		19-03-2025 15:30	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
Canuro WAD (*)	mg/L	0.0015	0.0030	<0.0030	NA	<0.0030	NA	<0.0030	NA
Sólidos Suspensos Totales (*)	mg/L	2.00	5.00	125.00	2.11	88.00	1.71	71.00	1.53
Aniones IAS									
Sulfato (3)	mg/L	0.20	0.50	218.50	1.43	205.60	1.35	548.53	1.44
Metales Totales ICP-MS									
Aluminio (4)	mg/L	0.001	0.003	1.531	0.022	1.185	0.017	0.600	0.009
Antimonio (4)	mg/L	0.0005	0.0020	0.0029	0.0001	0.0025	0.0001	0.0053	0.0001
Arsénico (4)	mg/L	0.00020	0.00100	0.06596	0.00125	0.06347	0.00121	0.05671	0.00108
Bario (4)	mg/L	0.00008	0.00030	0.02583	0.00048	0.01834	0.00034	0.02644	0.00049
Berilio (4)	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	NA	<0.0003	NA	<0.0003	NA
Bismuto (4)	mg/L	0.003	0.010	<0.010	NA	<0.010	NA	<0.010	NA
Boro (4)	mg/L	0.0003	0.0010	0.0082	0.0004	0.0024	0.0003	0.0035	0.0003
Cadmio (4)	mg/L	0.00010	0.00020	0.01013	0.00019	0.01095	0.0002	0.00889	0.00016
Calcio (4)	mg/L	0.001	0.004	84.266	1.180	86.461	1.210	234.170	3.278

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

³ Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método. "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método. "<"= Menor que el L.D.M.

*: No ensayado

NA: No Aplica

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura k = 2 para un nivel de confianza aproximado del 95%.

⁽²⁾ Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

Pág 3 de 8

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chacabuco N° 2877,
Barranco, Lima
Tel.: (011) 773-0788 / 773-0626
Cel.: 977 518-675 / 977 523-379

SEDE ZARUMILLA
Protección Democrática Mz 02 Lt 3,
Barranco, Lima
Cel.: 977 528-979 / 977 548-480

SEDE AREQUIPA
COOP. DESARROLLO S.L.L. S.
Arequipa
Tel.: (084) 924-840
Cel.: 972 944-542

SEDE PIURA
Ute. San Isidro N° 1500
Mz. D3 Lt. 02,
Chulucani - Piura
Tel.: (043) 753-0639
Cel.: 953 475-530

SEDE TRUJILLO
Ute. 501 de Trujillo Mz. A Lt. 20,
Alto Solimayo - Trujillo
Tel.: (042) 713-8034
Cel.: 918 475-138

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-9691

ITEM				1		2		3	
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-25-24920 MA-2		M-25-24921 MA-3		M-25-24922 AS-MD-CN-02	
CÓDIGO DEL CLIENTE: (A)									
PRODUCTO				Agua Natural		Agua Natural		Agua Natural	
SUB PRODUCTO: (B)				Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				19-03-2025 11:37		19-03-2025 10:38		19-03-2025 15:30	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
Cobalto ¹	mg/L	0.0005	0.0020	0.0039	0.0001	0.0033	0.0001	<0.0020	NA
Cobre ¹	mg/L	0.00010	0.00020	0.49939	0.00904	0.37447	0.00678	0.24002	0.00434
Cromo ¹	mg/L	0.0001	0.0003	0.0020	0.000031	0.0015	0.000023	0.0006	0.00001
Estaño ¹	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010	NA	<0.0010	NA	<0.0010	NA
Estroncio ¹	mg/L	0.00002	0.00005	0.19748	0.00069	0.22014	0.00077	1.18318	0.00414
Fosforo ¹	mg/L	0.002	0.008	2.265	0.04	1.262	0.022	0.381	0.007
Hierro ²	mg/L	0.0010	0.0020	24.5476	0.4222	21.9443	0.3774	22.3790	0.3849
Litio ²	mg/L	0.00003	0.00010	0.01574	0.00033	0.01014	0.00022	0.02831	0.00059
Magnesio ¹	mg/L	0.0005	0.0020	12.3851	0.2143	11.3985	0.1972	75.5999	1.3252
Manganeso ¹	mg/L	0.00002	0.00005	3.40350	0.06433	2.14487	0.04054	5.09905	0.09637
Mercurio ²	mg/L	0.000033	0.000100	<0.000100	NA	<0.000100	NA	<0.000100	NA
Molibdeno ¹	mg/L	0.00030	0.00100	<0.00100	NA	<0.00100	NA	<0.00100	NA
Níquel ¹	mg/L	0.0001	0.0004	0.0135	0.0003	0.0104	0.0003	0.0061	0.0001
Plata ¹	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010	NA	<0.0010	NA	<0.0010	NA

¹ Ensayo acreditado por el IAS

 L.C.M. : Límite de cuantificación del método. " $<$ "= Menor que el L.C.M.

 L.D.M. : Límite de detección del método. " $<$ "= Menor que el L.D.M.

^(A) No ensayado

NA: No Aplica

 La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

^(B) Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-9691

ITEM				1		2		3	
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-25-24920		M-25-24921		M-25-24922	
CÓDIGO DEL CLIENTE ^(A)				MA-2		MA-3		AS-MD-CN-02	
PRODUCTO				Agua Natural		Agua Natural		Agua Natural	
SUB PRODUCTO ^(B)				Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río	
FECHA y HORA DE MUESTREO				19-03-2025 11:37		19-03-2025 10:38		19-03-2025 15:30	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
Piomo ^(C)	mg/L	0.0008	0.0010	0.0386	0.0007	0.0364	0.0006	0.0284	0.0005
Potasio ^(C)	mg/L	0.003	0.010	12.448	0.192	8.492	0.1	2.964	0.045
Selenio ^(C)	mg/L	0.0010	0.0020	<0.0020	NA	<0.0020	NA	<0.0020	NA
Sodio ^(C)	mg/L	0.0003	0.0010	35.1557	0.7031	18.3590	0.3672	10.6230	0.2125
Talio ^(C)	mg/L	0.00010	0.00040	<0.00040	NA	<0.00040	NA	<0.00040	NA
Titanio ^(C)	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010	NA	<0.0010	NA	<0.0010	NA
Ureano ^(C)	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	NA	<0.0003	NA	<0.0003	NA
Vanadio ^(C)	mg/L	0.0001	0.0003	0.0022	0.000037	0.0016	0.000026	0.0012	0.000019
Zinc ^(C)	mg/L	0.00010	0.00030	3.35227	0.08079	3.15781	0.0761	4.79875	0.11565

^(C) Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método. " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método. " $<$ "= Menor que el L.D.M.

NA: No ensayado

NA: No Aplica

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

^(A) Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-9691

ITEM				4		5	
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-25-24923		M-25-24924	
CÓDIGO DEL CLIENTE ^(A)				AS-MD-CN-01		Rnag-01A	
PRODUCTO ^(A)				Agua Natural		Agua Natural	
SUB PRODUCTO ^(A)				Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río	
FECHA y HORA DE MUESTREO				19-03-2025 16:15		20-03-2025 10:15	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
Cianuro WAO (*)	mg/L	0.0015	0.0030	<0.0030	NA	<0.0030	NA
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2.00	5.00	75.00	1.57	51.00	1.31
Aniones IAS							
Sulfato ²	mg/L	0.20	0.50	838.38	1.87	852.86	1.7
Metales Totales ICP-MS							
Aluminio ²	mg/L	0.001	0.003	0.748	0.011	0.472	0.007
Antimonio ²	mg/L	0.0006	0.0020	0.0037	0.0001	<0.0020	NA
Arsénico ²	mg/L	0.00020	0.00100	0.06770	0.00129	0.04474	0.00085
Bario ²	mg/L	0.00008	0.00030	0.03123	0.00058	0.02717	0.00061
Berilio ²	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	NA	<0.0003	NA
Bismuto ²	mg/L	0.003	0.010	<0.010	NA	<0.010	NA
Boro ²	mg/L	0.0003	0.0010	0.0046	0.0003	0.0081	0.0004
Cadmio ²	mg/L	0.00010	0.00020	0.01082	0.0002	0.00667	0.00012
Calcio ²	mg/L	0.001	0.004	316.907	4.424	294.408	4.122

^(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método. " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método. " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

^(A) Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-9691

ITEM		4		5			
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-25-24923		M-25-24924			
CÓDIGO DEL CLIENTE ^(A)		AS-MD-CN-01		Rragh-01A			
PRODUCTO ^(A)		Agua Natural		Agua Natural			
SUB PRODUCTO ^(A)		Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río			
FECHA y HORA DE MUESTREO		19-03-2025 16:15		20-03-2025 10:15			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
Cobalto ²	mg/L	0.0005	0.0020	<0.0020	NA	<0.0020	NA
Cobre ²	mg/L	0.00010	0.00020	0.28926	0.00524	0.18433	0.00334
Cromo ²	mg/L	0.0001	0.0003	0.0007	0.00001	0.0007	0.000011
Estaño ²	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010	NA	<0.0010	NA
Estroncio ²	mg/L	0.00002	0.00005	1.41553	0.00495	1.55261	0.00543
Fósforo ²	mg/L	0.002	0.006	0.286	0.005	0.581	0.01
Hierro ²	mg/L	0.0010	0.0020	32.8031	0.5642	18.1540	0.3124
Lito ²	mg/L	0.00003	0.00010	0.03273	0.00068	0.03808	0.00079
Magnesio ²	mg/L	0.0006	0.0020	105.1905	1.8198	96.6363	1.6718
Manganeso ²	mg/L	0.00002	0.00005	7.10209	0.13423	5.03891	0.09524
Mercurio ²	mg/L	0.000033	0.000100	<0.000100	NA	<0.000100	NA
Molibdeno ²	mg/L	0.00030	0.00100	<0.00100	NA	<0.00100	NA
Níquel ²	mg/L	0.0001	0.0004	0.0063	0.0002	0.0057	0.0001
Plata ²	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010	NA	<0.0010	NA

² Ensayo acreditado por el IAS.

L.C.M. : Límite de cuantificación del método. " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M. : Límite de detección del método. " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

^(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-9691

ITEM				4		5	
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-25-24923		M-25-24924	
CÓDIGO DEL CLIENTE ^(A)				AS-MO-CN-01		Rragr-01A	
PRODUCTO ^(A)				Agua Natural		Agua Natural	
SUB PRODUCTO ^(A)				Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río	
FECHA y HORA DE MUESTREO				19-03-2025 15:15		20-03-2025 10:15	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
Piomo ²	mg/L	0,0008	0,0010	0,0186	0,0003	0,0215	0,0004
Potasio ²	mg/L	0,003	0,010	4,127	0,064	3,582	0,056
Selenio ²	mg/L	0,0010	0,0020	<0,0020	NA	<0,0020	NA
Sodio ²	mg/L	0,0003	0,0010	15,2062	0,3041	10,5278	0,211
Talio ²	mg/L	0,00010	0,00040	<0,00040	NA	0,000378	0,00024
Titanio ²	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	NA	<0,0010	NA
Uranio ²	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	NA	<0,0003	NA
Vanadio ²	mg/L	0,0001	0,0003	0,0013	0,000021	0,0007	0,000012
Zinc ²	mg/L	0,00010	0,00020	5,85273	0,14105	4,57328	0,11

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método. " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método. " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

^(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"



CONTROL DE CALIDAD N°: IE-25-9691

Parametros	L.D.M.	L.C.M.	BLANCO Resultado	MUESTRA CONTROL Criterio Resultado	MUESTRA FORTIFICADA Criterio Resultado1 Resultado2	DUPLICADO Criterio Resultado
Aniones IAS(2)						
Sulfato	0.20	0.50	<0.50 mg/L	85-120% 96.66	80-120% 103.00 102.00	0-15% 4.24
Cianuro WAD(1)						
Cianuro WAD	0.0015	0.0030	<0.0030 mg/L	85-115% 105.60	85-115% 98.00 110.00	0-15% NA
Metales Totales ICP MS(2)						
Aluminio	0.001	0.005	<0.003 mg/L	85-115% 101.86	85-115% 101.00 106.00	0-15% 3.11
Antimonio	0.0006	0.0020	<0.0020 mg/L	85-115% 102.62	85-115% 103.00 92.00	0-15% 3.69
Arsénico	0.00020	0.00100	<0.00100 mg/L	85-115% 99.52	85-115% 94.00 107.00	0-15% 4.42
Bario	0.00008	0.00030	<0.00030 mg/L	85-115% 99.64	85-115% 100.00 94.00	0-15% 1.99
Berilio	0.0001	0.0003	<0.0003 mg/L	85-115% 101.52	85-115% 105.00 96.00	0-15% NA
Bismuto	0.003	0.010	<0.010 mg/L	85-115% 90.38	85-115% 97.00 93.00	0-15% NA
Boro	0.0003	0.0010	<0.0010 mg/L	85-115% 101.02	85-115% 96.00 96.00	0-15% 9.60
Cadmio	0.00010	0.00020	<0.00020 mg/L	85-115% 102.34	85-115% 90.00 97.00	0-15% 3.11
Calcio	0.001	0.004	<0.004 mg/L	85-115% 101.59	85-115% 94.00 107.00	0-15% 1.71
Cobalto	0.0005	0.0020	<0.0020 mg/L	85-115% 102.05	85-115% 104.00 94.00	0-15% 1.56
Cobre	0.00010	0.00020	<0.00020 mg/L	85-115% 101.83	85-115% 103.00 99.00	0-15% 3.13
Cromo	0.0001	0.0003	<0.0003 mg/L	85-115% 101.57	85-115% 108.00 106.00	0-15% 5.08
Estadío	0.0003	0.0010	<0.0010 mg/L	85-115% 102.49	85-115% 101.00 100.00	0-15% NA
Estroncio	0.00002	0.00005	<0.00005 mg/L	85-115% 99.60	85-115% 91.00 101.00	0-15% 4.67
Fierro	0.002	0.006	<0.006 mg/L	85-115% 102.48	85-115% 90.00 106.00	0-15% 4.77
Hierro	0.0010	0.0020	<0.0020 mg/L	85-115% 101.04	85-115% 99.00 90.00	0-15% 3.26
Litio	0.00003	0.00010	<0.00010 mg/L	85-115% 98.48	85-115% 102.00 108.00	0-15% 2.09
Magnesio	0.0006	0.0020	<0.0020 mg/L	85-115% 99.15	85-115% 103.00 94.00	0-15% 1.01
Manganeso	0.00002	0.00005	<0.00005 mg/L	85-115% 101.40	85-115% 100.00 97.00	0-15% 2.93
Mercurio	0.000033	0.000100	<0.000100 mg/L	85-115% 101.00	85-115% 97.00 96.00	0-15% NA
Molibdeno	0.00030	0.00100	<0.00100 mg/L	85-115% 100.86	85-115% 91.00 109.00	0-15% NA
Niquel	0.0001	0.0004	<0.0004 mg/L	85-115% 101.63	85-115% 103.00 106.00	0-15% 2.31
Plata	0.0003	0.0010	<0.0010 mg/L	85-115% 107.20	85-115% 98.00 104.00	0-15% NA
Plomo	0.0008	0.0010	<0.0010 mg/L	85-115% 102.70	85-115% 101.00 90.00	0-15% 2.26
Potasio	0.003	0.010	<0.010 mg/L	85-115% 98.30	85-115% 105.00 106.00	0-15% 2.15
Selenio	0.0010	0.0020	<0.0020 mg/L	85-115% 99.73	85-115% 102.00 97.00	0-15% NA
Sodio	0.0003	0.0010	<0.0010 mg/L	85-115% 99.77	85-115% 97.00 96.00	0-15% 0.54
Talio	0.00010	0.00040	<0.00040 mg/L	85-115% 101.71	85-115% 102.00 93.00	0-15% NA
Tiempo	0.0003	0.0010	<0.0010 mg/L	85-115% 99.38	85-115% 102.00 109.00	0-15% NA
Urano	0.0001	0.0003	<0.0003 mg/L	85-115% 96.80	85-115% 101.00 93.00	0-15% NA
Vanadio	0.0001	0.0003	<0.0003 mg/L	85-115% 102.02	85-115% 90.00 95.00	0-15% 5.74
Zinc	0.00010	0.00030	<0.00030 mg/L	85-115% 102.37	85-115% 93.00 103.00	0-15% 3.29
Sólidos Suspendidos Totales(1)						
Sólidos Suspendidos Totales	2.00	5.00	<5.00 mg/L	85-115% 96.00	NA NA NA	0-15% 1.07

(2) Ensayo acreditado por el IAS

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

NA: No Aplica

CC. 335-2025-1
Las muestras están siendo transportadas hacia Lima por la empresa AFE SERVICE SAC

LISTA DE EQUIPOS, JEFES DE EQUIPO		TIPO DE MATRIZ (*)	CONTROL DE CALIDAD	SECCIÓN PARA SER REGISTRADA POR EL ÁREA DE RECEPCIÓN DEL LABORATORIO				
RESPONSABLE 1	FIRMA:	AGUA (Ref.: NTP 214.042)	SUELO	CONDICIONES DE RECEPCIÓN (MUESTRAS)		CONFORME A RECEPCIÓN DE MUESTRAS	OBSERVACIONES	
Dionisio Toribio Huallpa	<i>[Firma]</i>	SU SUELO: Agua Terrestre: AGT: Agua superficial de Rio ASL: Agua superficial de lagunas AGSM: Agua Subterránea de Morazan AGST: Agua Subterránea Terrestre Agua Domiciliar: AGD: Agua Residual Domestica ARD: Agua Residual Industrial Agua Helada: GAST: Agua de Hielo ARD: Agua de Refrigeracion AGAL: Agua Sólida GAT: Sólidos Agua de Proceso: AGP: Agua de extracción para aceites AL: Agua de lixiviación AC: Agua de catión AR: Agua de reacción y neutralización	SED: Sedimento LOGO TIPO DE ENVASE Agua de Frío: Gato AL: Agua de extracción para aceites AL: Agua de lixiviación AC: Agua de catión AR: Agua de reacción y neutralización	HPC: Densidad de campo BNC: Bacterias aerobias DTP: Duplicado Otro:	Envases adecuados y en buen estado Preservantes adecuados ** Refrigeradas Dentro del plazo de perecibilidad	Si: ☒ NO: ☐ ☒ ☐ ☒ ☐ ☒ ☐	Fecha de recepción: Hora de recepción: Recibido por: <i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i> <i>[Firma]</i> <i>[Firma]</i>
RESPONSABLE 2	FIRMA:			** Marcar en caso alguno 24 MAR 2025				



Downloaded from <http://ajph.org/> on November 10, 2015

Muestras		Ensayos																				
N°	Código de Servicio Ensayo Unidad	MA0747 Co (t) mg/L	MA0747 Cr (t) mg/L	MA0747 Cu (t) mg/L	MA0747 Fe (t) mg/L	MA0747 Ga (t) mg/L	MA0747 Ge (t) mg/L	MA0747 Hf (t) mg/L	MA0747 In (t) mg/L	MA0747 Hg (t) mg/L	MA0747 F (t) mg/L	MA0747 La (t) mg/L	MA0747 Li (t) mg/L	MA0747 Lu (t) mg/L	MA0747 Mo (t) mg/L	MA0747 Mg (t) mg/L	MA0747 Mo (t) mg/L	MA0747 Na (t) mg/L	MA0747 Nb (t) mg/L	MA0747 Ni (t) mg/L	MA0747 P (t) mg/L	MA0747 Pb (t) mg/L
Límite de Detección LD		0.00009	0.00005	0.00001	0.01	0.00002	0.00002	0.00003	0.00005	0.00001	0.01	0.00001	0.0006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.0001	0.0005	0.003	0.0000
1	AS-MC-N-01	0.00347	<0.0005	0.0099	24.05	0.00010	0.00008	<0.0003	<0.00005	<0.0001	8.99	0.00004	0.0136	<0.00006	14.19425	37.7437	0.00006	15.73	0.0001	0.00074	0.0083	0.00285
2	AS-MC-N-02	0.00179	<0.0005	0.00370	2.608	0.00009	0.00004	<0.0003	0.00011	0.00008	12.62	0.00005	0.0104	<0.00006	1.70819	9.5216	0.00172	40.74	0.0003	0.00056	2.267	0.00044



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° MAR 1106.R25-IN

Muestras		Ensayos																				
N°	Código de Servicio	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	
	Ensayo	Rb(t)	S(t)	Rb(t)	Se(t)	Si(t)	SiO2(t)	SiO3(t)	Sn(t)	Sr(t)	Tb(t)	Tc(t)	Ti(t)	Tl(t)	Ta(t)	V(t)	W(t)	Yb(t)	U(t)	Zn(t)	Zr(t)	
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Límite de Detección ID		0.00001	0.0001	0.0001	0.0001	0.03	0.06	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.002	0.0001	0.00002	0.0003	0.00003	0.00003	0.0001	0.0001	
1	AS-MI-CN-01	0.01285	174.7	0.0003	<0.001	3.65	7.52	9.91	<0.0001	0.2085	0.0001	<0.0004	<0.0001	<0.002	0.0001	<0.00002	<0.001	<0.0003	<0.00003	0.00006	4.049	<0.0001
2	AS-MI-CN-02	0.01434	50.1	0.0014	<0.001	4.11	8.51	11.16	0.0002	0.1386	0.0002	<0.0004	0.0001	0.003	0.0005	0.00010	<0.001	0.0013	<0.00003	0.00009	1.038	0.0002

CERTIMIN S.A., Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores. Telf.: (51-1) 205-5655, e-mail : certimin@certimin.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° MAR 1106.R25-IN

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Límite de Detección ID	MA1213 4,4 DDT pg/L 0.01	MA1213 4,4 DDE pg/L 0.01	MA1213 4,4 DDD pg/L 0.01	Aldrin pg/L 0.01	Alfa Clordano pg/L 0.01	Dieldrin pg/L 0.01	Endosulfan I pg/L 0.01	Endosulfan II pg/L 0.01	MA1213 Endrin pg/L 0.01	MA1213 Gamma Clordano pg/L 0.01	MA1213 Septacloro pg/L 0.01	MA1213 Septacloro Epóxido pg/L 0.01	MA1213 Lindano pg/L 0.01	MA1213 Hexaclorobenceno pg/L 0.01
1	AS-MI-CN-01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
2	AS-MI-CN-02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

CERTIMIN S.A., Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores. Telf.: (51-1) 205-5655, e-mail : certimin@certimin.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° MAR 1106.R25-IN

Muestras		Ensayos							
N°	Código de Servicio Ensayo Unidad Límite de Detección LD	MA1214 PCB's mg/L 0.00501	MA0756 DBO5 mg/L 2.0	MA0757 DQO mg/L 10	MA0789 Coliformes Fecales. NMP/100mL 1.8	MA0823 E.Coli NMP/100mL 1.8	MA1120 Huevos de Helminthos Huevos/L 1	MA1212 Paratuberculosis ug/L 0.01	MA1212 Malatión ug/L 0.01
1	AS-MI-CN-01	<0.00001	24.8	34	3500.0	3500.0	<1	<0.01	<0.01
2	AS-MI-CN-02	<0.00001	129.5	244	3500000.0	3500000.0	<1	<0.01	<0.01

CERTIMIN S.A., Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores Telf.: (51-1) 205-5656, e-mail : certimin@certimin.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° MAR 1106.R25-IN

Muestras		Ensayos																	
N°	Código de Servicio Ensayo Unidad Límite de Detección LD	MA1014 BOD5-N mg/L 0.01	MA1014 PO4 mg/L 0.16	MA1014 BOD5-P mg/L 0.05	MA1401 HCO3 - mg HCO3-/L 1.5	MA0180 Detergentes (SABM) mg/L 0.025	MA0075 Fenoles mg/L 0.001	MA0075 Fenoles mg/L 1.000	MA0053 Color OCU 3.5	MA0747 Ag(L) mg/L 0.00001	MA0747 Al(L) mg/L 0.001	MA0747 As(L) mg/L 0.0001	MA0747 Ba(L) mg/L 0.00005	MA0747 Be(L) mg/L 0.0003	MA0747 Bi(L) mg/L 0.00003	MA0747 B(L) mg/L 0.004	MA0747 Ca(L) mg/L 0.02	MA0747 Cd(L) mg/L 0.00005	MA0747 Ce(L) mg/L 0.00001
1	AS-MI-CN-01	0.23	<0.16	<0.05	89.5	0.672	<0.001	<1.000	9.9	0.00015	0.016	0.0149	0.01982	<0.0003	<0.00003	0.012	122.93	0.00425	0.00007
2	AS-MI-CN-02	0.13	<0.16	<0.05	242.8	1.244	<0.001	<1.000	138.0	0.00116	0.203	0.0171	0.01112	<0.0003	0.00032	0.015	73.50	0.00044	0.00017

CERTIMIN S.A., Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores Telf.: (51-1) 205-5656, e-mail : certimin@certimin.pe

Anexo 2. Matriz de consistencia

Título: Evaluación de la Calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	V.I	Población	Método	
¿Cuál es la calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025?	Evaluar de la Calidad del Agua Asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la Ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025.	La calidad del agua asociada al Pasivo Minero Desmontera Excelsior durante la ejecución del Plan de Cierre Ambiental en el distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2025 presenta alteraciones significativas en sus características fisicoquímicas y concentraciones de metales disueltos, superando en algunos casos los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establecidos por la normativa ambiental peruana.	Ejecución del plan de cierre ambiental	Registros analíticos generados en el estudio ambiental del recurso hídrico	Hipotético - deductivo	Estadística Inferencial
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V.D	Muestra	Nivel de investigación	Validación de hipótesis
¿Cuál es la concentración de metales disueltos en las muestras de agua asociada al pasivo Minero Desmontera Excelsior?	Determinar la concentración de metales disueltos en las muestras de agua asociada al pasivo Minero Desmontera Excelsior y comparar su estándar de calidad ambiental.	Las concentraciones de metales disueltos presentes en las muestras de agua asociadas al Pasivo Minero Desmontera Excelsior exceden los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, evidenciando influencia de actividades mineras pasadas..	Calidad del agua	Muestreo intencionado no probabilístico	Causal	Pruebas paramétricas
¿Qué condiciones fisicoquímicas presenta el recurso hídrico en los distintos puntos de muestreo?	Evaluar las condiciones fisicoquímicas del agua en los distintos puntos de muestreo.	Las condiciones fisicoquímicas del agua en los distintos puntos de muestreo presentan variaciones significativas que evidencian afectación de la calidad del recurso hídrico por la influencia del Pasivo Minero Desmontera Excelsior..		No Experimental	Diseño	T Student

¿Existen variaciones temporales y espaciales en los parámetros críticos de calidad de agua que evidencien fuentes de contaminación puntual o difusa?	Determinar la variación temporal y espacial de los parámetros críticos de calidad de agua en las contramuestras tomadas, para identificar fuentes de contaminación puntual o difusa.	Existe una variación temporal y espacial significativa en los parámetros críticos de calidad de agua de las contramuestras, permitiendo identificar zonas de influencia y posibles fuentes de contaminación puntual o difusa asociadas al Pasivo Minero Desmontera Excelsior.
--	--	---

Anexo 3 Toma de muestras margen izquierda



Anexo 4 Toma de muestras en los colectores de la base del Excelsior



Anexo 5 Toma de muestras margen izquierda de la relavera quiulacocha



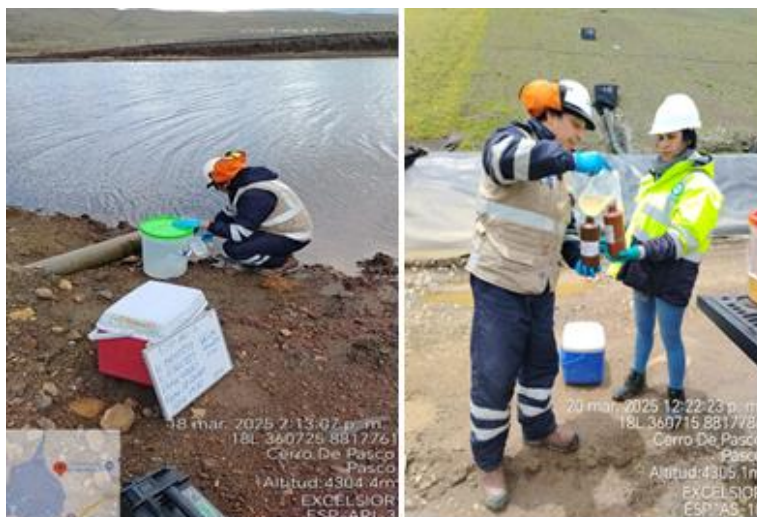
Anexo 6 Toma de muestras en la margen derecha



Anexo 7 Toma de muestras cerca a la relavera de quiulacocha



Anexo 8 Toma de muestras a la relavera y al excelsior, zona Norte



Anexo 9 Toma de muestras 7

